



**Ivo Manuel Mira
Abreu Rodrigues**

**Efeito de tratamentos de pressão e temperatura no
abrolhamento da batata (*Solanum tuberosum*)**



**Ivo Manuel Mira
Abreu Rodrigues**

**Efeito de tratamentos de pressão e temperatura no
abrolhamento da batata (*Solanum tuberosum*)**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Química e Qualidade dos Alimentos, realizada sob a orientação científica do Doutor Jorge Manuel Alexandre Saraiva, Investigador Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

...à minha esposa e ao meu filho.

Obrigado Rosa, por toda a paciência que tiveste para comigo. E tu, Guilherme, espero que nunca sintas a falta do apoio e carinho que o pai não foi capaz de te dar numa altura tão bonita da tua vida.

o júri

presidente:

Doutora Ivonne Delgadillo Giraldo
Professora Associada com Agregação da Universidade de Aveiro

vogais:

Doutor José Carlos Esteves Gomes Laranjo
Professor Auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Jorge Manuel Alexandre Saraiva
Investigador Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao terminar este trabalho, queria deixar uma palavra de agradecimento e apreço a todas as pessoas e entidades sem a intervenção das quais não seria possível a elaboração desta dissertação de mestrado. Assim, agradeço:

À Comissão Coordenadora do Mestrado em Química e Qualidade dos Alimentos pela oportunidade que me deu em frequentar este curso,

Ao Doutor Jorge Saraiva, meu orientador, pelos seus conhecimentos científicos, pela sua incansável dedicação e paciência, pela capacidade de orientação e persuasão. Sem a sua imprescindível ajuda este trabalho jamais existiria,

Ao Departamento de Química da Universidade de Aveiro,

Ao Departamento de Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro, nas pessoas dos seus sucessivos Presidentes do Conselho Directivo, que disponibilizou e possibilitou o uso do equipamento de pressão para o tratamento dos tubérculos de batata,

Aos funcionários do Departamento de Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro, Luís Costa, Octávio Contente e Jacinto Alves, pela sua disponibilidade e pela sua indispensável colaboração na realização dos tratamentos de pressão,

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia Alimentar da Escola Superior Agrária de Coimbra e à sua Presidente, Doutora Aida Moreira da Silva, que disponibilizou instalações e equipamentos indispensáveis à realização das diversas experiências,

À Eng^a Almerinda Belchior, técnica da empresa Eurobatata, pela sua pronta disponibilidade no fornecimento de informação técnica especializada,

Ao Eng^o Rui Saraiva, colega e amigo,

A todos os que directa ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho,

A todos o meu muito, muito obrigado!

palavras-chave

Tubérculos de batata, *Solanum tuberosum*, alta pressão, temperatura, abrolhamento, conservação

resumo

Este trabalho teve como objectivo estudar o efeito de tratamentos físicos de pressão e de temperatura no abrolhamento de tubérculos de batata. Verificou-se que tratamentos de pressão de 1000 e 500 atm, aplicados durante 10 minutos, inibiram o abrolhamento de tubérculos, durante pelo menos 43 dias, quando estes eram armazenados em condições ambientais, enquanto um tratamento de 300 atm (10 minutos) retardou substancialmente o abrolhamento. Tratamentos de pressão a 300 e 500 atm (5, 5+5 e 10 minutos), demonstraram ter pouco efeito no abrolhamento, mas algum efeito no desenvolvimento dos brotos, quando os tubérculos foram armazenados em câmara, com temperatura e humidade relativa controladas e luz difusa.

Tratamentos térmicos de 60°C, 65°C, 70°C e 75°C de curta duração (3 e 5 minutos), demonstraram inibir o abrolhamento durante pelo menos 43 dias. Os mesmos tratamentos aplicados durante 1 minuto, retardam o abrolhamento. Tratamentos térmicos entre 5°C e – 20°C, com duração entre 1-5 minutos, não causaram nenhum efeito apreciável no abrolhamento.

Tratamentos combinados de pressão (150 e 300 atm, 10 minutos) e temperatura (60°C e 65°C, 1 minuto), aplicados sequencialmente, causaram uma inibição pronunciada do abrolhamento na presença de luz, sendo o efeito inibidor dos tratamentos combinados, superior ao dos tratamentos aplicados individualmente. Nos tratamentos combinados, verificou-se que a aplicação de temperatura seguida de pressão, parece ter um efeito inibidor do abrolhamento superior, em relação à aplicação dos mesmos tratamentos, mas aplicando primeiro pressão seguida de temperatura.

Quando o efeito dos tratamentos combinados no abrolhamento foi estudado na ausência de luz, verificou-se um efeito inibidor dos tratamentos no abrolhamento muito superior ao verificado na presença de luz. Na ausência de luz, os resultados obtidos indicam que, quando se aplica pressão primeiro, seguida de temperatura, os efeitos inibidores no abrolhamento são um pouco superiores, quando comparados com o tratamento em que se aplica primeiro temperatura.

Deste modo, o efeito inibidor no abrolhamento de tubérculos de batata, causado por tratamentos térmicos (entre 60°-75°C) de curta duração (1-5 minutos), tratamentos de pressão (300-1000 atm, 5-10 minutos) e tratamentos combinados de pressão e temperatura, poderá ser de interesse e potencial, para aplicação a nível industrial e fundamental, para, respectivamente, controlar o abrolhamento e estudar o mecanismo da quebra de dormência e início do abrolhamento.

keywords

Potato tubers, *Solanum tuberosum*, high-pressure, temperature, sprouting, preservation

abstract

The aim of this work was to study the effect of physical treatments of high pressure and temperature on the sprouting of potato tubers. It was verified that high pressure treatments of 1000 and 500 atm, applied during 10 minutes, could inhibit the sprouting, for at least 43 days, when the tubers were stored at environmental conditions, while a high pressure treatment of 300 atm (10 minutes) reduced substantially the sprouting. High pressure treatments of 300 and 500 atm (5, 5+5 and 10 minutes), showed only a slight effect on sprouting inhibition, but some inhibitory effect on sprout development, when the tubers were stored under controlled conditions of temperature and relative humidity and diffuse light.

Short time (3 and 5 minutes) thermal treatments at 60°C, 65°C, 70°C and 75°C, were able to inhibit the sprouting for at least 43 days. The same treatments applied during 1 minute, still slowed down sprouting. Thermal treatments between 5°C and – 20°C, (1-5 minutes), showed no substantial effect on sprouting.

Sequentially combined thermal (60°C and 65°C, 1 minute) and high pressure (150 and 300 atm, 10 minutes) treatments, caused a pronounced inhibition on sprouting, in the presence of light, being the inhibitory effect of the combined treatments higher than that caused by the treatments applied individually. In the combined treatments, it was verified a higher sprouting inhibitory effect, when temperature was applied first followed by pressure, compared to the treatments when pressure was applied first.

When the effect of the combined treatments was studied in the absence of light, the sprouting inhibitory effect was more pronounced than that observed in the presence of light. In the absence of light, the results showed a slight higher inhibitory effect on sprouting, when pressure was applied first.

In this way, the potato tuber sprouting inhibitory effect caused by short time (1-5 minutes) thermal treatments (between 60°-75°C), high pressure treatments (300-1000 atm, 5-10 minutes) and pressure/temperature combined treatments, can have interest and potential for industrial application and fundamental studies, for, respectively, control and study the mechanism of potato tuber internal dormancy break and sprouting initiation.

Índice

I.	Introdução	1
1.1	Composição Nutricional dos Tubérculos de Batata	2
1.1.1	Hidratos de carbono	3
1.1.2	Aminoácidos, proteínas e enzimas	4
1.1.3	Lípidos	5
1.1.4	Vitaminas e minerais	5
1.1.5	Compostos fenólicos	5
1.1.6	Compostos tóxicos e antinutricionais	6
1.2	Armazenamento da Batata	8
1.3	Modificações na Composição Nutricional e na Qualidade da Batata durante o Armazenamento	10
1.3.1	Hidratos de carbono	10
1.3.2	Proteínas	11
1.3.3	Vitaminas	11
1.3.4	Esverdeamento	12
1.3.5	Outros	13
1.4	O Abrolhamento dos Tubérculos de Batata	13
1.5	Prevenção do Abrolhamento dos Tubérculos de Batata	17
1.5.1	Métodos químicos	18
1.5.2	Métodos físicos	20
1.5.3	Métodos biológicos	21
1.5.4	Métodos genéticos	21
1.6	A Tecnologia da Alta Pressão para Inibição do Abrolhamento	25
II.	Material e Métodos	30
2.1	Amostras de Batatas	30
2.2	Tratamentos por Alta Pressão	32
2.3	Tratamentos Térmicos	34
2.4	Condições de Abrolhamento	34
2.5	Determinação das Constantes Cinéticas	36
2.6	Análise Estatística dos Resultados	37

III.	Discussão de Resultados	39
3.1	Efeito de Tratamentos de Pressão	39
3.1.1	Armazenamento em câmara	40
3.1.2	Armazenamento em condições ambientais.....	47
3.2	Efeito de Tratamentos Térmicos	54
3.2.1	Efeito de tratamentos a 55°C e 80°C.....	55
3.2.2	Efeito de tratamentos a 60-75°C	61
3.2.3	Efeito de tratamentos a 5°C, 1°C e - 5°C.....	68
3.2.4	Efeito de tratamentos a – 10°C, – 15°C e – 20°C	74
3.3	Tratamentos Combinados de Pressão e Temperatura.....	81
3.3.1	Tratamentos combinados de pressão seguida de temperatura.....	82
3.3.2	Tratamentos combinados de temperatura seguida de pressão.....	89
3.3.3	Comparação entre os tratamentos combinados de pressão/temperatura e temperatura/pressão	96
3.4	Armazenamento em Câmara na Ausência de Luz	98
3.5	Comparação do Efeito da Luz no Abrolhamento em Câmara	106
3.6	Efeito dos Tratamentos no Rácio Comprimento/Massa de Brolhos	106
IV.	Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro	108
V.	Referências Bibliográficas	111

Índice de Figuras

Figura 1.1.1 – Representação de um corte transversal de um tubérculo de batata.....	2
Figura 1.1.2 - Estruturas da α -solanina e da α -chaconina	7
Figura 1.2.1 - Influência da temperatura no armazenamento da batata	9
Figura 1.4.1 - Estrutura das hormonas endógenas com intervenção no processo de abrolhamento das batatas	15
Figura 1.4.2 - Catabolismo da sacarose em tubérculos de batata	17
Figura 1.5.1 - Principais anti-abrolhantes usados	18
Figura 1.5.2 – Envolvimento da sacarose no processo bioquímico do abrolhamento da batata.....	23
Figura 2.1.1 - Batatas da cultivar “Desireé” da colheita de 2003 utilizadas neste trabalho	31
Figura 2.1.2 - Batatas da cultivar “Desireé” da colheita de 2004 utilizadas neste trabalho	32
Figura 2.2.1 - Batatas preparadas para os tratamentos de pressão.	33
Figura 2.2.2 - Prensa isostática usada nos tratamentos de pressão.	33
Figura 2.4.1 - Batatas preparadas para abrolhamento em câmara.....	35
Figura 2.4.2 - Batatas preparadas para abrolhamento em condições ambientais	36
Figura 3.1.1 - Percentagem de batatas abrolhadas	41
Figura 3.1.2 - Número de brotos por batata abrolhada	42
Figura 3.1.3 - Comprimento total dos brotos	43
Figura 3.1.4 - Massa total de brotos.....	44
Figura 3.1.5 - Relação entre comprimento total e a massa total de brotos	44
Figura 3.1.6 – Fotos dos tubérculos no final da experiência	46
Figura 3.1.7 – Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento	47
Figura 3.1.8 - Percentagem de batatas abrolhadas	48
Figura 3.1.9 - Número de brotos por batata abrolhada	49
Figura 3.1.10 - Comprimento total dos brotos	50
Figura 3.1.11 – Fotos dos tubérculos no final da experiência	51
Figura 3.1.12 - Fotos dos tubérculos depois de congelados em azoto líquido.....	52
Figura 3.2.1 - Percentagem de batatas abrolhadas	56
Figura 3.2.2 - Número de brotos por batata abrolhada	57
Figura 3.2.3 - Comprimento total dos brotos	58
Figura 3.2.4 – Fotos dos tubérculos no final da experiência	60

Figura 3.2.5 – Fotos dos tubérculos depois de congelados em azoto líquido.....	61
Figura 3.2.6 – Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento	62
Figura 3.2.7 - Percentagem de batatas abrolhadas	62
Figura 3.2.8 - Número de brotos por batata abrolhada	63
Figura 3.2.9 - Comprimento total dos brotos	64
Figura 3.2.10 - Massa total de brotos.....	65
Figura 3.2.11 - Relação entre comprimento total e a massa total de brotos	65
Figura 3.2.12 – Fotos dos tubérculos no final da experiência	67
Figura 3.2.13 – Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento	68
Figura 3.2.14 - Percentagem de batatas abrolhadas	69
Figura 3.2.15 - Número de brotos por batata abrolhada	69
Figura 3.2.16 - Comprimento total dos brotos	70
Figura 3.2.17 - Massa total de brotos.....	71
Figura 3.2.18 - Relação entre o comprimento total e a massa total de brotos	71
Figura 3.2.19 – Fotos dos tubérculos no final da experiência	72
Figura 3.2.20 – Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento	74
Figura 3.2.21 - Percentagem de batatas abrolhadas	75
Figura 3.2.22 - Número de brotos por batata abrolhada	75
Figura 3.2.23 - Comprimento total dos brotos	76
Figura 3.2.24 - Massa total de brotos.....	77
Figura 3.2.25 - Relação entre o comprimento total e a massa total de brotos	78
Figura 3.2.26 – Fotos dos tubérculos no final da experiência	79
Figura 3.3.1 - Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento	82
Figura 3.3.2 - Percentagem de batatas abrolhadas	83
Figura 3.3.3 - Número de brotos por batata abrolhada	84
Figura 3.3.4 - Comprimento total dos brotos	84
Figura 3.3.5 - Massa total de brotos.....	85
Figura 3.3.6 - Relação entre o comprimento brotos e a massa total de brotos	86
Figura 3.3.7 - Fotos dos tubérculos no final da experiência.....	87
Figura 3.3.8 - Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento	89
Figura 3.3.9 - Percentagem de batatas abrolhadas	90
Figura 3.3.10 - Número de brotos por batata abrolhada	90

Figura 3.3.11 - Comprimento total dos brotos	91
Figura 3.3.12 - Massa total de brotos.....	92
Figura 3.3.13 - Relação entre o comprimento e a massa total de brotos	93
Figura 3.3.14 - Fotos dos tubérculos no final da experiência.....	94
Figura 3.3.15 - Relação entre o número de batatas abrotadas por tratamento e o número de batatas abrotadas no controle para tratamentos de pressão seguidos de tratamentos de temperatura.....	97
Figura 3.3.16 - Relação entre o número de batatas abrotadas por tratamento e o número de batatas abrotadas no controle para tratamentos de temperatura seguidos de tratamentos de pressão	97
Figura 3.4.1 - Percentagem de batatas abrotadas	100
Figura 3.4.2 - Número de brotos por batata abrotada	100
Figura 3.4.3 - Comprimento total dos brotos	101
Figura 3.4.4 - Massa total de brotos.....	102
Figura 3.4.5 - Relação entre o comprimento e a massa total de brotos	102
Figura 3.4.6 - Fotos dos tubérculos aos 22 e 57 dias de armazenamento.....	105

Índice de Tabelas

Tabela 1.1.1 - Composição nutricional dos tubérculos de batata (em base seca)	3
Tabela 1.6.1 - Pressão usada na pasteurização de alimentos e no estudo do abrolhamento da batata (neste trabalho), expressa em várias unidades	25
Tabela 2.1.1 – Relação entre as colheitas dos tubérculos de batata usados e os tratamentos aplicados, bem como as condições de armazenamento dos tubérculos para abrolhamento .	31
Tabela 2.2.1 – Tratamentos de pressão e sua duração, a que foram submetidos os tubérculos.	33
Tabela 2.3.1 – Tratamentos térmicos e sua duração, a que foram submetidos os tubérculos	34
Tabela 3.1.1 - Identificação dos tratamentos de pressão	39
Tabela 3.1.2 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 42 dias de armazenamento....	41
Tabela 3.1.3 - Cinética de crescimento dos brotos	43
Tabela 3.1.4 – Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento..	50
Tabela 3.1.5 – Comparação dos dados obtidos nos pontos 3.1.1 e 3.1.2	54
Tabela 3.2.1 - Identificação dos tratamentos térmicos.....	55
Tabela 3.2.2 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento....	59
Tabela 3.2.3 - Cinética de crescimento dos brotos	64
Tabela 3.2.4 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de abrolhamento.....	66
Tabela 3.2.5 - Cinética de crescimento dos brotos	70
Tabela 3.2.6 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento....	73
Tabela 3.2.7 - Cinética de crescimento dos brotos	76
Tabela 3.2.8 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento....	80
Tabela 3.3.1 - Identificação dos tratamentos de AP e temperatura, combinados sequencialmente .	81
Tabela 3.3.2 - Cinética de crescimento dos brotos	85
Tabela 3.3.3 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento....	88
Tabela 3.3.4 - Cinética de crescimento dos brotos	91
Tabela 3.3.5 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento....	95
Tabela 3.3.6 - Comparação das constantes cinéticas	98
Tabela 3.4.1 - Identificação dos tratamentos estudados em câmara na ausência de luz	99
Tabela 3.4.2 - Cinética de crescimento dos brotos	101
Tabela 3.4.3 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento no final de 57 dias de armazenamento	104

Lista de Abreviaturas

ABA – Ácido abscísico
ADP – adenosina difosfato
AGPase - ADP-glucose pirofosforilase
AP – Alta pressão
Atm - Atmosferas
CIPC – Cloroprofame
F6P - Frutose-6-fosfato
FBP - frutose-1,6-bifosfato
HR – Humidade relativa
IPC – Profame
MH – Hidrazida do ácido maleico
MPa – Megapascal
PFP - Pirofosfato:frutose 6-fosfato fosfotransferase
P_i – Fosfato inorgânico
PP_i - Pirofosfato inorgânico
UDP – uridina difosfato
UGPase - UDP-glucose pirofosforilase

I. Introdução

A utilização em massa da batata (*Solanum tuberosum* L.) e seus derivados na dieta alimentar dos nossos dias, torna este produto de origem vegetal, um dos mais amplamente consumidos em todo o mundo, sendo a produção de batata a nível mundial apenas superada pela produção de trigo, cevada e milho. A produção de batata na União Europeia (15 países) foi, em 2003, de aproximadamente 43 milhões de toneladas, cabendo a Portugal, no mesmo período, uma produção de 1,25 milhões de toneladas (Anuário Vegetal de 2004 do Gabinete de Planeamento e Política Agro-Alimentar, do Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas (GPPAA, 2004)).

Não sendo possível ter disponíveis durante todo o ano batatas “frescas” para consumo e processamento industrial, é absolutamente necessário proceder ao seu armazenamento durante longos períodos de tempo. Durante esse período, o metabolismo dos tubérculos continua activo e ocorre, consequentemente, o abrolhamento após um período de dormência, de duração variável.

O abrolhamento da batata conduz, inevitavelmente, à perda de peso e firmeza dos tubérculos assim como à perda de qualidade sensorial e nutritiva, com a consequente perda de valor comercial. Torna-se, então imperativo aumentar o período de dormência dos tubérculos de batata, sabendo-se que o período de dormência se inicia com o começo da tuberização e termina com o recomeço do crescimento activo dos brotos sob condições favoráveis (Hajirizaei e Sonnewald, 1999).

Actualmente, a nível industrial, o abrolhamento da batata é controlado usando temperaturas menores que 10°C e métodos químicos (Jadahav e Kadam, 1998). Dado que os consumidores são cada vez mais sensíveis à utilização de produtos químicos nos produtos que consomem, existe um elevado interesse na substituição dos métodos químicos por métodos físicos, que sejam eficazes no aumento do período de dormência e que retardem o início do abrolhamento.

O objectivo deste trabalho foi estudar de que modo dois tratamentos físicos (tratamentos térmicos de curta duração e tratamentos por alta pressão) influenciam o período de dormência dos tubérculos de batata, para avaliar a possibilidade de usar este tipo de tratamentos para retardar o abrolhamento da batata. Assim, neste capítulo apresenta-se a composição nutricional da batata, as alterações que ocorrem na batata durante o armazenamento (incluindo aquelas que são hoje já conhecidas como sendo responsáveis pelo terminar do período de dormência e início do

abrolhamento) e os principais métodos que se usam para controlar o abrolhamento a nível industrial. São também discutidos novos métodos de retardamento do abrolhamento que têm sido apresentados na literatura científica, mas que ainda não são usados em termos industriais. No final do capítulo, é apresentada a tecnologia de alta pressão, dado ser uma tecnologia de uso bastante recente na área alimentar, tendo a primeira utilização comercial ocorrido no Japão, para produção de alimentos pasteurizados a frio em 1990 (Torres e Velazquez, 2005).

1.1 Composição Nutricional dos Tubérculos de Batata

A batata (*Solanum tuberosum* L.) pertence à família *Solanaceae* e é uma dicotiledónea herbácea. A designação "batata de consumo", é utilizada para identificar os tubérculos cultivados que sejam arrancados após o seu completo desenvolvimento (Norma Portuguesa, NP-3063 de 1985). A Figura 1.1.1 apresenta um diagrama de um corte transversal de um tubérculo de batata, mostrando os principais tipos de tecidos.

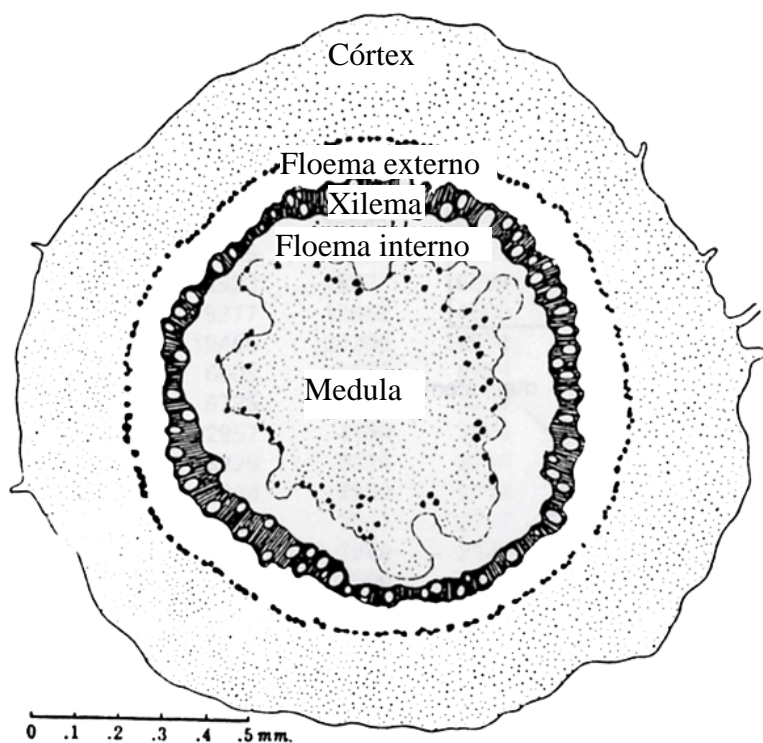


Figura 1.1.1 – Representação de um corte transversal de um tubérculo de batata.
Adaptado de Jadhav e Kadam (1998)

Para além da batata ser muito rica em hidratos de carbono, é um alimento que fornece outros nutrientes em quantidades significativas. Proteínas, minerais, nomeadamente o ferro e vitaminas, mais especificamente as do complexo B e vitamina C, são disso exemplo (Jadahav e Kadam, 1998). A composição da batata em termos gerais é apresentada na Tabela 1.1.1.

Tabela 1.1.1 - Composição nutricional dos tubérculos de batata (em base seca)

Constituinte	Composição média (%)
Amido	70
Sacarose	0,5-1,0
Açúcares redutores	0,5-2,0
Azoto total	1,0-2,0
Azoto proteico	0,5-1,0
Gordura	0,3-0,5
Fibras	6-8
Minerais	4-6

Adaptado de: Jadahav e Kadam (1998)

1.1.1 Hidratos de carbono

Os hidratos de carbono constituem cerca de 80% do total dos sólidos que se encontram na batata, sendo o principal o amido. O amido da batata, presente sob a forma de grânulos de amido, é constituído por amilose e amilopectina, cabendo à amilose uma proporção que pode variar entre 18,5% e os 30%. A composição em amido varia com a temperatura de armazenamento, com a ocorrência de doenças e com a aplicação de compostos químicos (Jadahav e Kadam, 1998).

Os açúcares presentes em maiores quantidades são a glucose, frutose e sacarose. Em quantidades mais reduzidas poderão ser encontrados cetoheptose, melibiose, melezitose e rafinose. A maioria dos açúcares é acumulada durante o armazenamento da batata a temperaturas menores que 10°C. Paralelamente com o abrolhamento da batata ocorre um aumento do conteúdo de açúcares, sendo a sua concentração mais elevada no centro da batata que na periferia (Mondy e Pannampalam, 1985).

Além do amido, a batata contém celulose, substâncias pécicas, hemicelulose e outros polissacarídeos não amiláceos. A celulose constitui 10% a 12% dos polissacarídeos não amiláceos e as substâncias pécicas preenchem uma gama de 0,7% a 1,5%. A hemicelulose representa 1% do total de polissacarídeos não amiláceos na batata e é constituída pelos ácidos galacturónico e glucurónico e xilose e arabinose. As fibras dietéticas representam 1% a 2 % do peso da batata (Reistad, 1983).

1.1.2 Aminoácidos, proteínas e enzimas

O conteúdo em azoto da batata é cerca de 1% a 2% do peso seco e é influenciado pelas condições ambientais e de cultivo a que as batatas foram sujeitas durante o crescimento.

A fracção proteica, a qual é responsável por cerca de metade a um terço do total de azoto, está maioritariamente presente sob a forma de aminoácidos livres. A asparagina e a glutamina estão presentes em quantidades aproximadamente iguais e no conjunto constituem cerca de metade do total de aminoácidos. Sendo os dois aminoácidos livres em maior quantidade, a asparagina e glutamina adquiriram uma importância muito grande desde que em 2002 investigadores suecos (Tareke *et al.*, 2002) verificaram a formação de acrilamida em alimentos à base de amido que eram sujeitos altas temperaturas (como por ex., durante a fritura). Dados os possíveis efeitos tóxicos da acrilamida, estes dados despertaram bastante interesse e alarmismo. Ainda no mesmo ano, verificou-se que a acrilamida se formava via reacções de Maillard, particularmente quando os aminoácidos envolvidos eram a asparagina, glutamina e a cisteína (Stadler *et al.*, 2002), sendo que a quantidade de acrilamida formada era muito maior para o caso da asparagina. Assim, tornou-se premente a procura de variedades de batata com menor conteúdo em asparagina. O conteúdo em lisina na batata é idêntico ao encontrado em proteínas de origem animal. Este aminoácido tem uma importância nutricional relevante, dado ser um aminoácido essencial que reage nas reacções de Maillard de modo significativo durante processos térmicos como a fritura, devido à reactividade do seu grupo ε -amino, levando à redução da sua biodisponibilidade e ao acastanhamento dos produtos processados (Fayle e Gerrard, 2002).

Várias enzimas foram já identificadas na batata, como a polifenoloxidase, a peroxidase, a catalase, esterases, enzimas proteolíticas, invertase, fosforilase e oxidases do ácido ascórbico. Algumas destas enzimas (como a polifenoloxidase) influenciam as propriedades de processamento

dos tubérculos e outras como a invertase e a fosforilase estarão envolvidas no processo de abrolhamento (Jadahav e Kadam, 1998), como se verá em detalhe mais à frente.

1.1.3 Lípidos

A quantidade de lípidos na batata é pequena, sendo aproximadamente de 0,1% do peso "fresco" e constituem basicamente os lípidos da membrana celular (Jadahav e Kadam, 1998).

1.1.4 Vitaminas e minerais

A batata é uma excelente fonte de vitamina C, tiamina, niacina, piridoxina e seus derivados. As batatas frescas, logo após a colheita, podem conter até 30 mg de ácido ascórbico por 100 g de peso fresco, conteúdo este que vai diminuindo à medida que o período de conservação aumenta ou as batatas são sujeitas a operações de processamento. O conteúdo vitamínico da batata depende de factores como a cultivar, o tipo de solo, a fertilização em azoto, a aplicação de fósforo ou a data de colheita. Os tubérculos de batata contêm a vitamina C quer na forma reduzida (ácido ascórbico), como na forma oxidada (ácido desidroascórbico), estando esta última presente em menor quantidade. Tanto a temperatura como o tempo de armazenamento influenciam o conteúdo desta vitamina (Jadahav e Kadam, 1998). O consumo de batata constitui uma das fontes mais importantes de vitamina C na dieta alimentar humana.

A batata é também uma boa fonte de ferro, potássio, magnésio e fósforo, encontrando-se uma pequena percentagem deste sob a forma de ácido fitico. Este ácido interacciona com o cálcio, ferro e zinco sob a forma de fitato, formando complexos, reduzindo a biodisponibilidade destes minerais. No entanto, a batata é uma fonte pobre de cálcio e sódio (Jadahav e Kadam, 1998).

1.1.5 Compostos fenólicos

Nos tubérculos da batata estão também presentes compostos fenólicos tais como coumarinas, antocianinas, flavonas e polifenóis. Estes compostos estão maioritariamente

localizados no córtex e nos tecidos da casca da batata. A presença de elevadas concentrações de fenóis está associada à descoloração que ocorre após a confecção (Jadahav e Kadam, 1998).

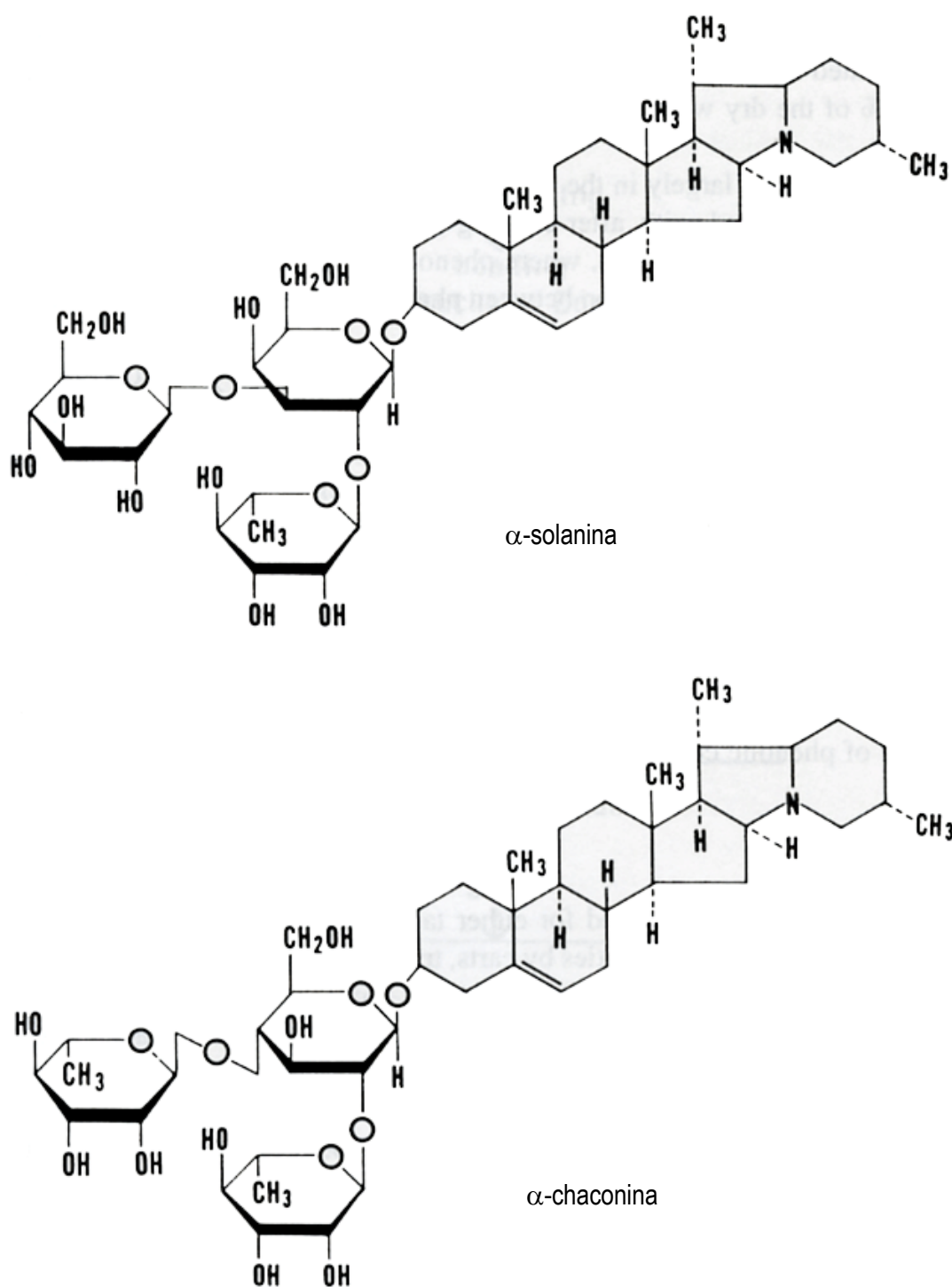
1.1.6 Compostos tóxicos e antinutricionais

Glicoalcalóides

Nos tubérculos da batata estão presentes glicoalcalóides, que são esteróides, que se apresentam sob a forma de uma mistura de α -solanina e α -chaconina, numa gama de 0,01 a 0,1% do seu peso seco (Figura 1.1.2). Estes glicoalcalóides estão em concentração superior nos brotos da batata do que nos tubérculos. Batatas com concentrações de glicoalcalóides superiores a 0,1% (base seca) são consideradas impróprias para consumo humano. Estes glicoalcalóides, em altas concentrações, são tóxicos, inibindo a colinesterase, causando dores de cabeça, náuseas e diarreia se consumidos em doses superiores a 2,5 mg/kg de massa corporal, podendo mesmo ser letais para o ser humano quando a concentração for superior a 3 mg/kg de massa corporal (Jadahav e Kadam, 1998). A α -solanina e α -chaconina não são destruídas pela temperatura, mesmo a temperaturas altas, como durante a fritura.

Estudos recentes atribuem alguma possível responsabilidade aos glicoalcalóides no aumento do risco de aparecimento dos cancros do cérebro, pulmões, mama e da tiróide (Korpan *et al.*, 2004).

Quando se torna necessário armazenar batatas por longos períodos de tempo, é conveniente fazer uma selecção e retirar os tubérculos com danos ou esverdeados e realizar o armazenamento ao abrigo da luz e a temperaturas compreendidas entre os 5 e os 8°C para prevenir o aumento do conteúdo em glicoalcalóides (Sengul *et al.*, 2004). Estas condições de temperatura, como se verá mais à frente, são também inibidoras do abrolhamento.

Figura 1.1.2 - Estruturas da α -solanina e da α -chaconina

Inibidores de proteases

A batata contém inibidores de proteases, incluindo os inibidores da tripsina e da quimotripsina, entre outros. A composição em aminoácidos dos diferentes inibidores de proteases presentes na batata é muito similar. Pensa-se que estes inibidores, na planta, estejam envolvidos em mecanismos de defesa contra doenças. As temperaturas utilizadas nas diversas operações de processamento e/ou confecção são suficientes para destruir a maioria destes compostos, sendo no entanto, os inibidores da carboxipeptidase extremamente estáveis a altas temperaturas (Jadahav e Kadam, 1998).

1.2 Armazenamento da Batata

O armazenamento dos tubérculos deve efectuar-se, sempre que possível, logo após a colheita, não devendo apresentar-se tocados, gelados, podres, atacados por fungos ou grelhados. Será útil proceder-se a uma escolha prévia, a qual deve ser realizada cuidadosamente a fim de evitar ferir os tubérculos. O efeito da temperatura de armazenamento nos processos de respiração e germinação (abrolhamento) e na perda de peso é apresentado na Figura 1.2.1. Como se pode ver, a respiração, a germinação e a perda de peso aumentam com a temperatura, enquanto a acumulação de açúcares se torna importante para temperaturas abaixo dos 5°C. Em termos correntes, o armazenamento das batatas à volta de 8°C ou um pouco acima, é denominado armazenamento a altas temperaturas e o armazenamento à volta de 5°C ou ligeiramente abaixo é chamado de armazenamento a baixas temperaturas. Os tubérculos devem ser conservados a uma temperatura entre os 13°C e os 18°C e a uma humidade relativa elevada durante 10 a 14 dias após o armazenamento, para que ocorra a suberização e cicatrização de feridas ou golpes (NP-1220, 1976). Este processo estimula o crescimento da periderme, bem como o seu espessamento, reduzindo-se assim as perdas de peso (Jadahav e Kadam, 1998).

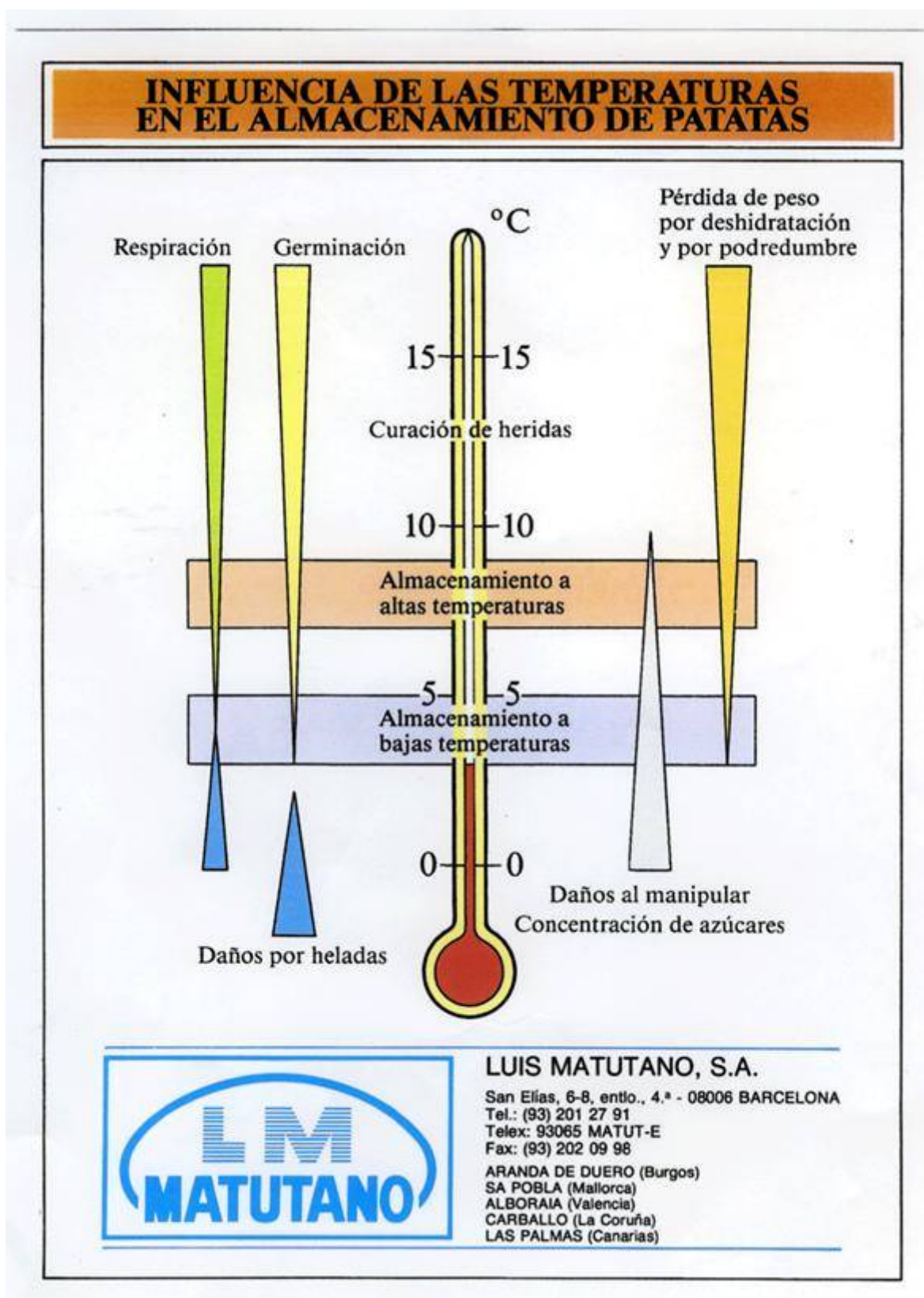


Figura 1.2.1 - Influência da temperatura no armazenamento da batata (retirado de folheto formativo da empresa Luis Matutano, S. A., Barcelona, Espanha)

Após este período, as batatas são normalmente armazenadas a temperaturas entre os 3°C e os 20°C e humidade relativa elevada compreendida entre os 85% e 95%, e segundo a norma portuguesa NP-1220 (1976), a temperatura mais conveniente situa-se entre o 3°C e os 6°C, dado que nesta gama de temperaturas se maximiza o retardamento do abrolhamento, sem ocorrerem ainda danos pelo frio. No entanto, dependendo da sua utilização posterior, as temperaturas de conservação variam. Para tubérculos destinados a processos em que serão submetidos a altas temperaturas, em indústrias de processamento de alimentos, estes são normalmente conservados a temperaturas compreendidas entre os 7°C e os 10°C, conforme a cultivar. Deste modo controla-se melhor a formação de açúcares redutores, que com as altas temperaturas do processamento causariam acastanhamento, devido às reacções de Maillard e consegue-se ainda níveis aceitáveis de inibição do abrolhamento (Jadahav e Kadam, 1998). Neste caso, nas duas últimas semanas de armazenamento, a temperatura pode ser aumentada para os 10°C a 14°C, podendo eventualmente ir até os 20°C, o que promove a conversão de açúcares em amido. A batata de consumo doméstico pode ser armazenada a temperaturas de cerca de 5°C, de modo a maximizar a inibição do abrolhamento e controlar a níveis aceitáveis a acumulação de açúcares (Afek *et al.*, 2000). O aumento da quantidade de açúcares leva também a que a batata fique com um sabor doce mais pronunciado.

Ao longo do período de armazenamento, as batatas perdem firmeza e vão ficando mais escuras e, quanto mais elevada for a temperatura mais rapidamente se dão as alterações nos diferentes parâmetros da qualidade. Diminuem também o ácido ascórbico, o amido e pH e aumentam a acidez, os açúcares totais e os açúcares redutores (Nourian *et al.*, 2003).

1.3 Modificações na Composição Nutricional e na Qualidade da Batata durante o Armazenamento

1.3.1 Hidratos de carbono

Como já foi referido anteriormente, o conteúdo de açúcares aumenta nas batatas armazenadas a baixas temperaturas (Linnemman *et al.*, 1985; Picha, 1986). A sacarose e os açúcares redutores são acumulados em diferentes proporções a diferentes temperaturas, devido à

conversão do amido em açúcares por ação da enzima fosforilase. A quantidade de açúcares formados a baixa temperatura depende da cultivar, da maturidade dos tubérculos, dos tratamentos de pré-armazenagem e da temperatura de armazenamento (Plaza *et al.*, 1985). O aumento do conteúdo de açúcares, principalmente os redutores, atinge um máximo em batatas armazenadas a temperaturas entre 1,1 e 2,2°C. O aumento da quantidade de açúcares que ocorre a temperaturas baixas, pode ser reduzido por um aumento da concentração de CO₂ na atmosfera de armazenamento (Jadahav e Kadam, 1998).

Assim, a baixas temperaturas a quantidade de amido diminui por conversão em açúcares. No entanto, a temperaturas superiores a 10°C, o seu conteúdo aumenta por conversão dos açúcares em amido. Por ex., tubérculos armazenados entre 1,1°C e 13,3°C durante dois a três meses contêm cerca de 70% do amido original (Jadahav e Kadam, 1998), dado que com a variação da temperatura, a baixas temperaturas ocorrerá predominantemente a conversão de amido a açúcares e às temperaturas mais elevadas o inverso. Este fenómeno é usado, como já se referiu antes, para o denominado condicionamento de batatas que foram armazenadas a baixas temperaturas, durante algum tempo a temperaturas mais elevadas, para conversão de açúcares em amido, para o caso de batatas com destino a processamento industrial, em que concentrações mais elevadas de açúcares causariam acastanhamento.

1.3.2 Proteínas

As condições de armazenamento, especialmente a temperatura, têm efeito sobre as proteínas. O conteúdo proteico decresce com o tempo de armazenamento para temperaturas entre 2°C e 10°C, mas as variações registadas no azoto total são pequenas. A composição em aminoácidos livres é maior no final do período de armazenamento (Jadahav e Kadam, 1998), indicando a ocorrência de proteólise.

1.3.3 Vitaminas

Ocorrem perdas de vitamina C quando o armazenamento se faz a temperaturas baixas, sendo que estas ocorrem mais rapidamente nos primeiros tempos de armazenamento (Jadahav e

Kadam, 1998). Com temperaturas por volta dos 7°C, o conteúdo em vitamina C diminui, mas no entanto, verifica-se um aumento desta vitamina para temperaturas de 16°C e de 28°C, podendo este aumento estar relacionado com o abrolhamento (que é mais rápido a estas temperaturas) e com o aumento da respiração (Linnemann *et al.*, 1985).

Durante o armazenamento, há também perdas de vitamina B e um aumento de piridoxina. Não se sabe se o aumento de piridoxina é devido à síntese da vitamina ou à sua libertação, nos períodos iniciais de armazenamento, a partir de uma forma previamente ligada (Augustin *et al.*, 1978).

1.3.4 Esverdeamento

A síntese de clorofila nas camadas mais exteriores dos tubérculos expostos à luz provoca o seu esverdeamento (*greening*) reduzindo o seu valor comercial. As partes esverdeadas das batatas podem apresentar sabor amargo depois de cozinhadas devido à síntese paralela de glicoalcalóides (Figura 1.1.2) nos mesmos locais. O esverdeamento das batatas pode ocorrer durante o período de exposição nos locais de venda uma vez que o fenómeno pode ser induzido num curto espaço de tempo (24 horas), em ambientes com intensidade de luz tão pequena quanto 3-11 W/m² (Gull e Isenberg, 1958). O aparecimento da cor verde é influenciado pela cultivar, pelo estado de maturação e pela temperatura. O esverdeamento não ocorre em tubérculos armazenados a 5°C e é promovido extensivamente a 20°C, com maior evidência em tubérculos imaturos ou que cresceram próximo da superfície. Em paralelo com o esverdeamento dá-se a formação de glicoalcalóides, responsáveis também pela formação de aromas desagradáveis (*off-flavors*) em batatas cozinhadas, em concentrações de 15-20 mg/100 g. Estas concentrações são 5 a 10 vezes superiores às apresentadas por batatas normais. A maior parte dos glicoalcalóides está concentrada junto à casca, pelo que em batatas descascadas a sua quantidade é normalmente demasiado baixa para causar risco nutricional ou intoxicação. A síntese de glicoalcalóides, paralelamente ao processo de esverdeamento, é influenciada pela cultivar, pela temperatura de armazenamento e pela intensidade luminosa (Jadahav e Kadam, 1998).

Edwards e Cobb (1997) estudaram o comportamento de tubérculos da cultivar King Edward relativamente à acumulação de clorofila e de glicoalcalóides quando armazenadas a diferentes temperaturas (5, 10, 20 e 25°C) em ambiente de pouca luz (12 µmol de fótons m⁻²s⁻¹) e na ausência

de luz. Concluíram que a temperatura afecta claramente a acumulação de clorofilas, tendo o pico de esverdeamento das batatas sido registado a 20°C. No entanto, a exposição à luz ou à temperatura não produziu qualquer efeito na concentração de glicoalcalóides nesta cultivar. Linnemann *et al.* (1985) verificaram até um ligeiro decréscimo destes compostos, no final de 12 semanas de armazenamento, em batatas da cultivar Bintje conservadas a temperaturas semelhantes (7, 16 e 28°C).

1.3.5 Outros

No armazenamento à temperatura ambiente verifica-se, inicialmente, um aumento do conteúdo de ácidos gordos, seguindo-se um decréscimo bastante acentuado à medida que o período de armazenagem decorre. O armazenamento a baixas temperaturas provoca um aumento no conteúdo em ácido málico e em ácido cítrico nos tubérculos. Não há alteração na composição mineral dos tubérculos armazenados ou, quando se verifica, não tem significado (Jadahav e Kadam, 1998).

Dado que o abrolhamento é o principal factor de perda da qualidade comercial da batata e a sua inibição o tema de estudo neste trabalho, o processo de abrolhamento e o seu controlo, são abordados em separado e com maior detalhe nos dois pontos seguintes.

1.4 O Abrolhamento dos Tubérculos de Batata

A indução do abrolhamento da batata é um processo benéfico, nos casos em que se pretende reduzir o período de dormência, como por ex., em regiões em que se façam duas plantações por ano. No entanto, para o consumidor a batata de consumo deve apresentar-se com poucos e pequenos brolhos, de preferência sem brolhos, uma vez que o abrolhamento é sinónimo de perda de qualidade sensorial e nutritiva, com a consequente perda de valor comercial. A norma NP-3063 (1985) estabelece que a batata de consumo não deve apresentar brolhos cujo comprimento seja superior a 3 mm.

Quando o período de dormência termina (o período durante o qual o crescimento do broto é inibido por mecanismos internos) e o abrolhamento se inicia, a síntese de proteínas e de ácidos nucleicos aumenta (Macdonald e Osborne, 1988).

Todo este processo é regulado em primeira instância por hormonas endógenas (Farré *et al.*, 2001). O ácido abscísico (ABA) mereceu a atenção de vários investigadores, que verificaram que o seu conteúdo diminuía durante o período de armazenamento não havendo, no entanto, qualquer correlação entre esse conteúdo e o nível de abrolhamento (Suttle e Hultstrand, 1994; Bhargava, 1997; Biemelt *et al.*, 2000). Este composto encontra-se preferencialmente nas zonas dos "olhos" e "sub-olhos" durante a quebra da dormência e foi proposto por outros investigadores, como sendo um potencial regulador primário do processo de abrolhamento (Sorce *et al.*, 1996). A presença de etileno endógeno aumenta o período de dormência e retarda o abrolhamento (Suttle, 1998a; Suttle, 2003). O aumento das giberelinas endógenas nos tubérculos acompanha o fim do período de dormência e estimula o crescimento dos brotos (Tweddell *et al.*, 2003; Suttle, 2004). As citocininas são consideradas como agentes endógenos responsáveis pelo fim do período de dormência dos tubérculos de batata (Suttle, 1998b; Suttle, 2001). As auxinas são inibidoras do crescimento dos brotos (Suttle, 2003) mas não têm influência sobre o período de dormência (Wiltshire e Cobb, 1996). A estrutura de todas as hormonas discutidas acima é apresentada na Figura 1.4.1.

O período de dormência, mais ou menos longo, depende essencialmente de factores genéticos e ambientais. O controlo da temperatura, da humidade e da luminosidade durante o crescimento e armazenamento dos tubérculos é fundamental para regular o processo de abrolhamento. O controlo destes factores ambientais permite, dependendo do objectivo a alcançar, acelerar (batata de semente) ou retardar (batata para consumo ou processamento) o abrolhamento das batatas.

Para prolongar o período de dormência, os métodos mais eficazes, actualmente usados, são a conservação da batata a temperaturas menores que 10°C e/ou o uso de inibidores químicos do abrolhamento. No entanto, as baixas temperaturas fomentam a conversão do amido em açúcares (totais e redutores) que, por sua vez, são responsáveis pelo aumento do sabor doce e acastanhamento, quando os tubérculos são submetidos a altas temperaturas, durante o processamento industrial ou a nível doméstico, como por ex., durante a fritura.

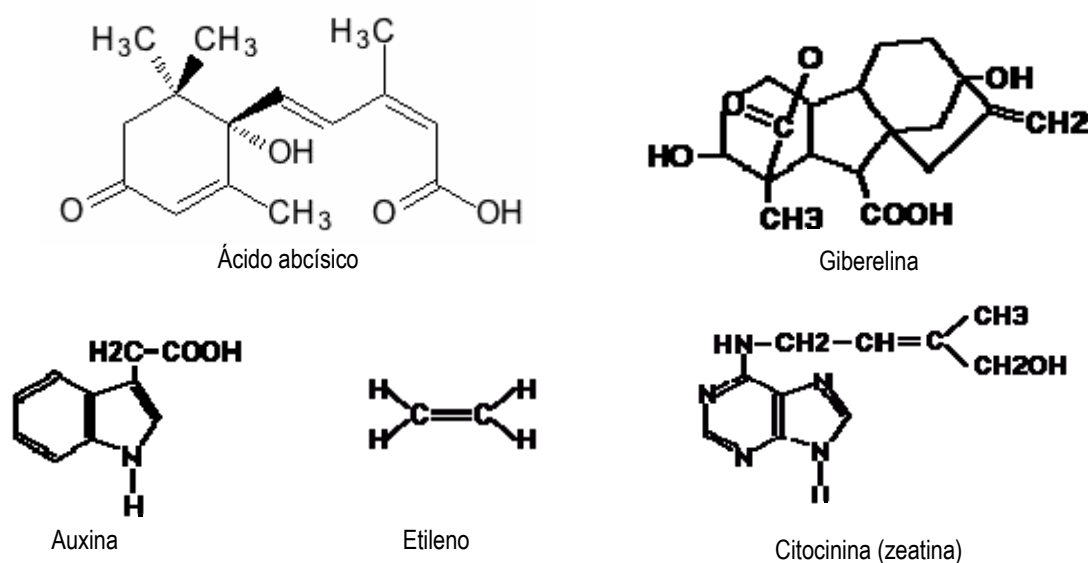


Figura 1.4.1 - Estrutura das hormonas endógenas com intervenção no processo de abrolhamento das batatas

A temperatura é um dos factores mais usados para controlar o abrolhamento. Abaixo de 5°C o abrolhamento ocorre lentamente, enquanto para temperaturas acima de 5°C, a formação de brotos aumenta com o aumento da temperatura, até cerca de 20°C, diminuindo para temperaturas superiores (Boguchi e Nelson, 1980). Linnemann *et al.* (1985) verificaram que quanto mais elevadas eram as temperaturas de armazenamento, mais rapidamente se dava o aparecimento e crescimento dos brotos e que a 7°C, não ocorria a formação de brotos após 12 semanas de armazenamento, enquanto a 28°C os brotos se formavam logo após 2 semanas de armazenamento.

Biemelt *et al.* (2000) concluíram que a conversão de amido em açúcares e as alterações na concentração do ABA se relacionam com a quebra do período de dormência. A manutenção do crescimento dos brotos estará dependente da degradação do amido, dado ocorrer indução da expressão e actividade da enzima β -amilase, mas não o início do abrolhamento. Pensa-se que no início do abrolhamento (quebra do período de dormência) são usados açúcares solúveis e aminoácidos já disponíveis (Sonnewald, 2001). Biemelt *et al.* (2000) verificaram ainda que as enzimas sacarose sintase, (responsável pela degradação da sacarose, a uridina difosfato glucose (UDP-glucose) e frutose) e a frutocinase (responsável pela metabolização da frutose), apresentam um aumento da sua actividade, durante os estados iniciais do abrolhamento, maioritariamente nas regiões dos "sub-olhos" da batata. O aumento gradual da actividade da enzima piruvato cinase nos

tecidos abaixo do broto pode ser o reflexo do aumento da necessidade de energia para o seu desenvolvimento.

O pirofosfato inorgânico (PP_i) participa em três vias fundamentais do metabolismo dos hidratos de carbono: i) é requerido na degradação da sacarose e produzido durante a síntese da sacarose pela UDP-glucose pirofosforilase (UGPase); ii) é produzido durante a biosíntese do amido pela ADP-glucose pirofosforilase (AGPase) e, iii) desempenha um papel importante na glicólise pela participação directa na reacção catalisada pela enzima pirofosfato:frutose 6-fosfato fosfotransferase (PFP) (Rees e Morrell (1990). A Figura 1.4.2 apresenta o modo como o (PP_i) influencia o catabolismo da sacarose (Sonnewald, 2001). Pela Figura 1.4.2, pode ver-se que o metabolismo da sacarose requer pirofosfato inorgânico em dois estádios enzimáticos. Na degradação da sacarose é formada a UDP-glucose que por sua vez é convertida em glucose-1-fosfato por acção da UDP-glucose pirofosforilase. Esta reacção requer pirofosfato inorgânico como co-substrato. Após a conversão da glucose-1-fosfato em frutose-6-fosfato (F6P), é formada a frutose-1,6-bifosfato (FBP) por acção da pirofosfato-frutose-6-fosfato fosfotransferase (PFP) ou da fosfofrutocinase. A reacção catalisada pela PFP é reversível e dependente da relação entre o fosfato (P_i) e pirofosfato inorgânicos (PP_i). Na ausência de PP_i , a PFP converte o P_i e a FBP em F6P e PP_i . Assim, diminuindo a concentração de PP_i é possível inibir a degradação da sacarose e fomentar a sua síntese (Sonnewald, 2001), o que poderá permitir controlar o abrolhamento. A concentração de PP_i poderá ser controlada por modificação genética, pelo controlo da expressão da enzima pirofosfatase. Esta possibilidade é apresentada e discutida em mais detalhe no ponto 1.5.4.

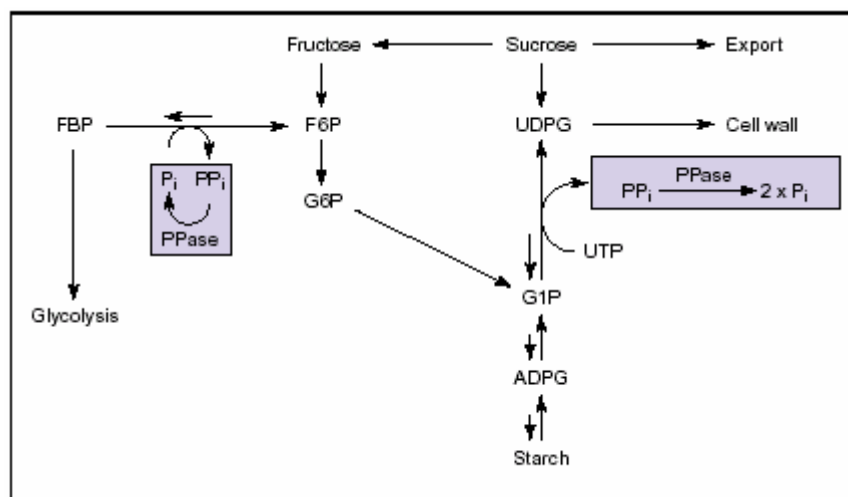


Figura 1.4.2 - Catabolismo da sacarose em tubérculos de batata (retirado de Sonnewald, 2001)

Abreviaturas: UDPG, UDP-glucose; P_i , fosfato inorgânico; PP_i , pirofosfato inorgânico; PPase, pirofosfatase inorgânica da *E. coli*; G1P, glucose-1-fosfato; ADPG, ADP-Glucose; F6P, frutose-6-fosfato; FBP, frutose-1,6-bifosfato; G6P, glucose-6-fosfato

Pode-se então concluir que os mecanismos que induzem quer à quebra da dormência, quer ao início do abrolhamento não são ainda totalmente conhecidos. No entanto, é certo que a temperatura desempenha um papel fundamental na activação ou inibição deste processo e que o crescimento dos brotos depende da degradação do amido, uma vez que se verifica um aumento da actividade de enzimas que degradam o amido após o crescimento destes se ter iniciado. Isto é, o amido não é necessário para o início do abrolhamento, mas sim para o crescimento dos brotos. Por outro lado, o PP_i e a sacarose, cujo metabolismo está também ligado ao metabolismo do amido, deverão desempenhar também um papel importante no abrolhamento e/ou desenvolvimento dos brotos.

1.5 Prevenção do Abrolhamento dos Tubérculos de Batata

O abrolhamento é o principal fenómeno que conduz a perdas significativas na qualidade global dos tubérculos de batata, sendo responsável pela diminuição da qualidade nutritiva e sensorial, assim como pela perda de peso e de firmeza. Para evitar o abrolhamento das batatas, torna-se, então imperativo aumentar o período de dormência das batatas. Actualmente, os métodos mais utilizados para evitar o abrolhamento são a conservação a temperaturas menores que 10°C, a

utilização de inibidores químicos e também, embora com menor utilização, a irradiação. Na literatura científica, outros métodos têm sido objecto de estudos mais recentes, alguns dos quais parecem promissores na capacidade que evidenciam para prolongar o período de dormência dos tubérculos. De seguida serão discutidos em mais detalhe todos os métodos identificados, na pesquisa bibliográfica realizada, que poderão permitir controlar o abrolhamento.

1.5.1 Métodos químicos

Vários inibidores químicos são utilizados para evitar o abrolhamento das batatas. Entre eles, a hidrazida do ácido maleico (MH, 3,6-dihidroxi-piridazina), e derivados do carbamato, como o 1-etil-1-metil-3-fenilcarbamato (IPC, de nome comercial Profame) e o 1-etil-1-metil-3-clorofenilcarbamato (CIPC, de nome comercial Cloroprofame) (Figura 1.5.1), são os mais usados (Jadahav e Kadam, 1998).

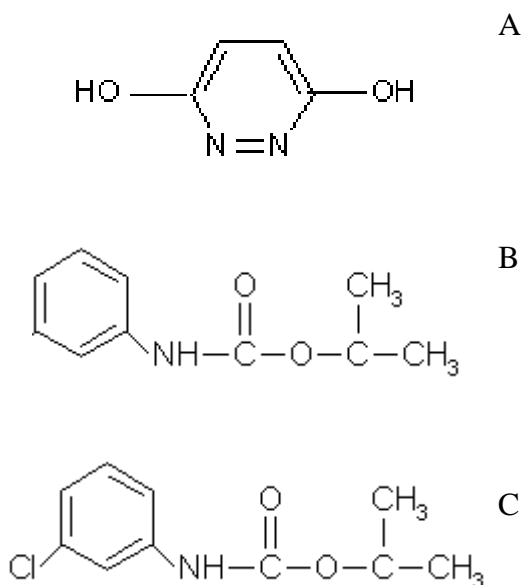


Figura 1.5.1 - Principais anti-abrolhantes usados: A – 3,6-dihidroxi-piridazina; B – 1-etil-1-metil-3-fenilcarbamato; C - 1-etil-1-metil-3-clorofenilcarbamato

O IPC e o CIPC impedem o crescimento dos brotos por inibição da divisão celular. O CIPC pode ser aplicado em qualquer altura após as feridas das batatas estarem completamente saradas, mas sempre antes da quebra da dormência (Lewis *et al.*, 1997). A sua utilização permite a redução

do metabolismo dos hidratos de carbono e a consequente diminuição da taxa de respiração e perda de peso dos tubérculos (Blenkinsop *et al.*, 2002). Os tubérculos tratados com CIPC apresentam, ainda, maior concentração de compostos fenólicos e uma redução do conteúdo em vitamina C, quando comparados com tubérculos não tratados (Ponnampalam e Mondy, 1986). Estes inibidores químicos, apesar de serem eficazes na inibição do abrolhamento, começam a ter uma utilização mais restrita, devido a questões relacionadas com a legislação ambiental de muitos países (Afek *et al.*, 2000) e com a exigência crescente dos consumidores por alimentos produzidos sem utilização de produtos químicos e em sistemas de produção mais “amigos” do ambiente.

Os óleos essenciais da hortelã, o *peppermint* (mentol), a carvona, entre outros, têm sido indicados por diversos autores como potenciais inibidores do abrolhamento. Mittal *et al.* (2001) verificaram que estes compostos tinham algum poder inibidor do abrolhamento de batatas armazenadas sob condições ambientais de temperatura (20 a 38°C) e humidade relativa (30% a 80%), não evidenciando contudo diferenças significativas para o controlo. Baker *et al.* (2002) verificaram que a *S*-carvona, aplicada na concentração de 600 ml por tonelada de batata, apresentava performance similar ao CIPC, aplicado nas doses comerciais recomendadas, na supressão do abrolhamento.

Sendo a *S*-carvona um composto volátil, o que obriga a várias aplicações durante o armazenamento, Galhano *et al.* (2005) estudaram as propriedades anti-abrolhantes deste composto utilizando-o como composto de inclusão da β -ciclodextrina, proporcionando assim a libertação controlada da *S*-carvona. Estes autores concluíram que o sistema *S*-carvona/ β -ciclodextrina tem potencial inibidor do abrolhamento das batatas, mas inferior quando comparado com aplicação simples da *S*-carvona.

Wills e Warton (2003) avaliaram o efeito da concentração de etileno na atmosfera de armazenamento de batatas à temperatura 20°C e concluíram, passados 35 dias de armazenamento, haver uma relação inversa entre o número de brolhos por tubérculo e a concentração de etileno na atmosfera. Também Jeong *et al.* (2002) verificaram que os brolhos apareceram mais tarde e eram mais pequenos em tubérculos armazenados em atmosfera com etileno.

Afek *et al.* (2000) apresentaram resultados relativos à utilização de uma formulação, à base de peróxido de hidrogénio estabilizado, a que os autores chamaram *Hydrogen Peroxide Plus* (HPP), que aplicada por nebulização permitia um controlo eficiente do abrolhamento. A análise microscópica das batatas nebulizadas com HPP demonstrou que a sua acção inibidora é conseguida por degradação da extremidade do brolho. Segundo os autores do estudo, este método

é uma boa alternativa ao CIPC, uma vez que é amigo do ambiente, fácil de implementar e não é dispendioso. No entanto, os autores deste estudo não indicaram a composição detalhada do HPP.

1.5.2 Métodos físicos

A irradiação dos tubérculos com radiação gama é utilizada na inibição do abrolhamento. Este método não provoca perdas de aroma, de sabor e de vitamina C. O recurso a tratamentos com feixes de electrões de baixa energia permite a desinfecção de sementes e a inibição do abrolhamento em batatas (Todoriki e Hayashi, 2000). O tratamento de batatas de consumo por irradiação com feixes de electrões de baixa energia (a partir de 270 keV) inibiu o abrolhamento em 4 cultivares de batatas cultivadas no Japão armazenadas à temperatura de 23°C durante 4 meses (Todoriki e Hayashi, 2004). Os autores do estudo concluíram assim, que este método tem potencial para ser utilizado como alternativa à irradiação por radiação gama ou à utilização de químicos com vista a aumentar o tempo de vida útil das batatas. No entanto, por a irradiação ser um processo muito caro, leva a que os anti-abrolhantes químicos sejam muito mais utilizados (Jadahav e Kadam, 1998). Para além deste facto, existe alguma relutância por parte dos consumidores, particularmente na Europa, ao consumo de alimentos irradiados, com a legislação na Europa a ser muito restritiva, relativamente aos alimentos que podem ser irradiados. A nível da União Europeia, a irradiação é apenas permitida para ervas aromáticas desidratadas, especiarias e condimentos vegetais (Directiva Europeia, 1999/3/EC).

O controlo da temperatura e da atmosfera de armazenamento também permitem a redução do abrolhamento. Como já se disse antes, logo após a colheita, o armazenamento deve ser realizado a temperaturas de 13°C a 18°C e a uma humidade relativa elevada, entre 85% a 95%, permitindo assim a suberização e a formação da periderme, de modo a prevenir a contracção da batata (Jadahav e Kadam, 1998). Após o período de cura, cerca de uma a duas semanas, a temperatura de armazenamento deve decrescer até temperaturas compreendidas entre 3,3°C e 4,4°C, para maximizar a inibição do abrolhamento e manter em níveis aceitáveis a formação de açúcares redutores. Uma atmosfera capaz de suprimir o abrolhamento deve apresentar baixa concentração de O₂ e elevada concentração de CO₂ (Prange *et al.*, 1997). O armazenamento da batata de consumo em atmosfera com cloro activo em concentração superior a 20 mg/l (Tweddell *et*

al., 2003) e em atmosfera saturada de iodo (Eolini *et al.*, 2004) permite a inibição efectiva do abrolhamento.

Ranganna *et al.* (1998) verificaram que é possível armazenar batatas durante 12 semanas à temperatura de 18°C depois de submetidas a tratamento térmico a 57,5°C durante 20 a 30 minutos, sem se verificar abrolhamento. Com idênticos tratamentos térmicos também foi possível inibir o abrolhamento e o crescimento das raízes em dentes de alho (Cantwell *et al.*, 2003). Contudo, estes tratamentos têm a desvantagem de serem de longa duração (20 a 30 minutos), o que os torna pouco interessantes para aplicação em contínuo a grandes quantidades a nível industrial.

1.5.3 Métodos biológicos

Com uma performance estatisticamente similar à aplicação de CIPC, após 4 a 5 meses de armazenamento, é possível conseguir o (bio)controlo do abrolhamento com a aplicação, por nebulização, de culturas de diferentes estirpes de *Pseudomonas fluorescens* e *Enterobacter spp* (Slininger *et al.*, 2003; Slininger *et al.*, 2004).

1.5.4 Métodos genéticos

Com o desenvolvimento da capacidade de alterar o metabolismo por recurso a ferramentas de modificação genética, alguns estudos têm sido apresentados em que com a produção de batatas geneticamente modificadas se pretende alterar o metabolismo de forma a aumentar o período de dormência, retardando assim o abrolhamento.

Uma vez que o fim do período de dormência coincide com uma maior actividade das enzimas que hidrolisam o amido, qualquer acção que perturbe a conversão de amido em sacarose ou a disponibilidade da sacarose para o crescimento do broto influenciará a dormência dos tubérculos. Como já foi dito antes, o pirofosfato inorgânico (PP_i) participa em três vias fundamentais do metabolismo dos hidratos de carbono. Assim, como o pirofosfato inorgânico desempenha um papel central no metabolismo do amido e da sacarose e ambos estes processos estão relacionados com o abrolhamento dos tubérculos de batata, então alterações na concentração do pirofosfato inorgânico poderão causar alterações no processo de abrolhamento. De facto, Hajirezaei e

Sonnewald (1999) verificaram que batatas geneticamente modificadas com o gene de *Escherichia coli*, que codifica a pirofosfatase inorgânica, para expressão desta enzima, não conseguiam abrolhar. Estes autores, concluíram que o metabolismo dos hidratos de carbono é drasticamente alterado através da remoção do PP_i citosólico via expressão da pirofosfatase inorgânica da *Escherichia coli*. Resultados anteriores já tinham indicado que também o transporte de sacarose a longas distâncias é inibido na ausência de PP_i nas células do floema, por remoção específica (Lerchl *et al.*, 1995). Desta forma, a remoção do pirofosfato, favorece a síntese de sacarose e reduz a sua degradação, inibindo a glicólise e, consequentemente, ocorre inibição do abrolhamento (Hajirezaei e Sonnewald, 1999) (Figura 1.5.2). Assim, as células seriam, na prática incapazes de usar a sacarose para obter energia, dado que é favorecida a sua síntese.

Contudo, Farré *et al.* (2001) verificaram que a expressão do mesmo gene de *Escherichia coli* em tubérculos de batata, provocava uma aceleração do abrolhamento, com uma redução do período de dormência em cerca de 6-7 semanas. Neste caso, nas batatas modificadas geneticamente a actividade da pirofosfatase era cerca de 3 vezes superior e a concentração de pirofosfato menor entre 20% a 60%. Assim, neste caso, a redução de pirofosfato diminuiu também a degradação de sacarose (e favorece a sua síntese), aumentando a sua concentração, mas causa, no entanto, uma aceleração do processo de abrolhamento.

Estes resultados, aparentemente contraditórios, parecem ser explicados pelo facto de a expressão do gene da pirofosfatase ser realizada de modo diferente, devido à utilização de promotores diferentes.

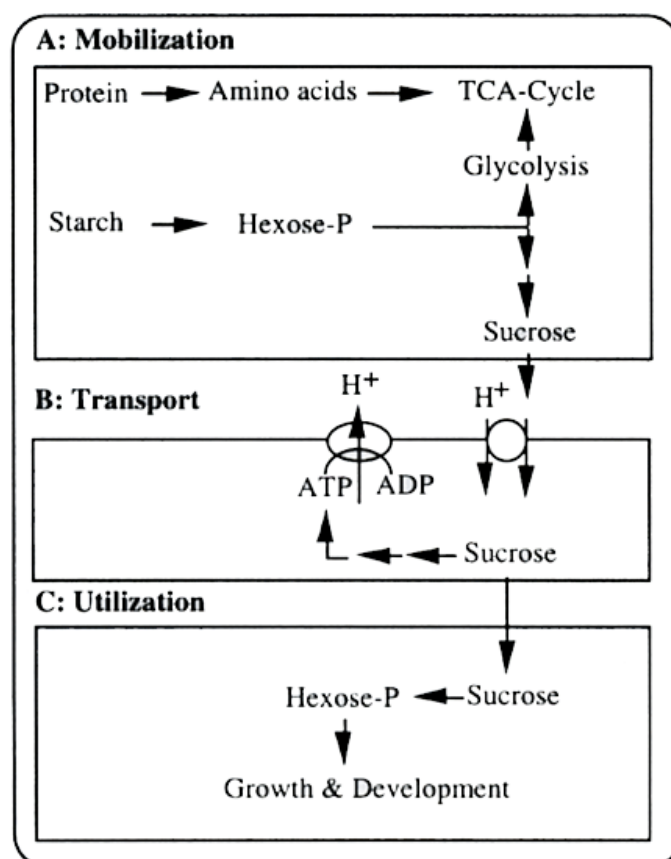


Figura 1.5.2 – Envolvimento da sacarose no processo bioquímico do abrolhamento da batata
 A: Mobilização das reservas, amido e proteínas nas células de armazenamento; B: Transporte de sacarose através do floema; C: Utilização da sacarose no crescimento dos brotos (retirado de Hajirezaei e Sonnewald, 1999)

No primeiro caso (Hajirezaei e Sonnewald, 1999) foi usado um promotor não específico, que levou à expressão de pirofosfatase e diminuição de PP_i não específica, enquanto no segundo caso (Farré *et al.*, 2001), foi usado o promotor patatina, específico do tubérculo, permitindo o aumento da sacarose apenas nas células de armazenamento do parênquima, sem afectar a utilização de sacarose pelas células meristemáticas e do floema.

O diferente efeito da expressão específica ou não específica pode ser explicado pela diminuição de PP_i e também pelo metabolismo de diferentes tecidos do tubérculo não ser igual (Hajirezaei e Sonnewald, 1999; Sonnewald, 2001; Farré *et al.*, 2001). Contrariamente às células do floema, as células de armazenamento do tubérculo são capazes de usar proteínas e aminoácidos livres como fonte de energia. Assim, na expressão não específica do gene da pirofosfatase de *E. coli*, as células dos tubérculos modificados geneticamente apresentam uma diminuição do conteúdo

proteico e nenhum efeito na respiração (Hajirezaei e Sonnewald, 1999). Para este caso, a inibição do abrolhamento, parece dever-se a uma redução da reposição da sacarose do floema e a uma reduzida utilização da sacarose nos brotos em desenvolvimento. Isto acontece, porque como já se disse, o transporte de sacarose a longa distância é particularmente dependente do PP_i do citosol (Lerchl *et al.*, 1995), uma vez que estes autores verificaram que a remoção específica do PP_i do floema, resulta em inibição da reposição da sacarose do floema, o que deverá ocorrer devido a uma diminuição da glicólise e respiração, o que diminui o ATP disponível para o transporte activo de sacarose, levando a que menos sacarose seja translocada para o broto em desenvolvimento (Hajirezaei e Sonnewald, 1999). Para além deste efeito, a diminuição de PP_i (que ocorre em todos os tipos de células, no caso da transformação genética não ser específica), leva a que a síntese de sacarose seja favorecida, relativamente à sua degradação, em todos os tipos de células, o que leva a que mesmo a sacarose *importada* (oriunda de outros tecidos) seja usada menos eficientemente. As experiências em que a transformação genética foi específica, em que foi usado o promotor patatina, específico do tubérculo, foram realizadas exactamente para verificar se de facto a sacarose inibe o abrolhamento pelos dois mecanismos indicados (redução da reposição da sacarose do floema e reduzida utilização da sacarose nos brotos). De facto, o aumento de disponibilidade de sacarose nas células de armazenamento do parênquima, sem afectar a utilização de sacarose pelas células meristemáticas e do floema causou uma aceleração do abrolhamento, suportando assim a hipótese apresentada para o mecanismo de acção da redução do PP_i , no abrolhamento via sacarose (Sonnewald, 2001).

A utilização do promotor não específico causa no entanto dois problemas: o desenvolvimento dos tubérculos é muito afectado (pois o gene é expresso durante o desenvolvimento do tubérculo) e os tubérculos produzidos deste modo perdem definitivamente a capacidade de abrolhar. Assim, a expressão da pirofosfatase para controlar o abrolhamento deverá ser feita de maneira específica, de modo a que a expressão só ocorra nos tubérculos armazenados e não durante o desenvolvimento dos tubérculos (Hajirezaei e Sonnewald, 1999; Sonnewald, 2001; Farré *et al.*, 2001). Para retardar o abrolhamento, a expressão da pirofosfatase deverá ser feita de modo específico nas células, a partir das quais se formam os brotos, de modo a que estas tenham reduzida capacidade de utilização da sacarose.

Tubérculos modificados geneticamente com a expressão de uma fosfoglucomutase inorgânica derivada da *Escherichia coli* apresentam também uma redução na taxa de abrolhamento

(Lytovchenko *et al.*, 2005). Embora os autores tenham referido não se saber quais as causas para este efeito, este poderá estar relacionado com a razão glucose-6-fosfato/glucose-1-fosfato.

Os dados conhecidos até agora apontam claramente para a importância do estado dos hidratos de carbono e do seu metabolismo para determinar a duração do período de dormência e o início do abrolhamento e desenvolvimento dos brotos.

1.6 A Tecnologia da Alta Pressão para Inibição do Abrolhamento

Antes de começar este ponto, torna-se necessário explicar o que se entende por tecnologia de “alta pressão” e como esta é aplicada. Esta tecnologia é de uso industrial recente na indústria alimentar, tendo os primeiros produtos comerciais aparecido no Japão em 1990 (Torres e Velazquez, 2005). Os produtos processados por alta pressão ou submetidos a alta pressão, são embalados em embalagens flexíveis (para acomodar a diminuição de volume que ocorre com o aumento da pressão), colocados num vaso metálico (chamado vaso de alta pressão, de forma cilíndrica), sendo bombeado um fluido (geralmente água), através de bombas e intensificadores de pressão, até se atingir a pressão desejada, que se mantém pelo tempo necessário, procedendo-se de seguida à despressurização. O nome alta pressão advém das pressões elevadas que se usam. Por ex., para pasteurizar sumos de frutos a pressão utilizada é de cerca de 450 MPa (Tabela 1.6.1). Esta pressão corresponde a 4589 kg/cm² e 4441 atm, o que são pressões bastantes elevadas e daí o nome de “alta pressão”.

Tabela 1.6.1 - Pressão usada na pasteurização de alimentos e no estudo do abrolhamento da batata (neste trabalho), expressa em várias unidades

	MPa	kg/cm ²	Bar	Atm
Pasteurização de alimentos	450	4589	4500	4441
	15	153	150	148
Abrolhamento da batata	30	306	300	296
(neste estudo)	50	509	500	493
	100	1020	1000	987

As alterações causadas por acção da alta pressão, sejam elas físicas ou químicas, obedecem ao princípio de Le-Chatelier. Assim, qualquer reacção, alteração conformacional ou transição de fase, que seja acompanhada de uma redução de volume é favorecida pela pressão (e *vice-versa*). A utilização de alta pressão tem efeitos mais marcados em “entidades” com graus mais elevados de estrutura, como proteínas e membranas, dado que afecta particularmente ligações não covalentes, tendo um efeito muito menor nas ligações covalentes (Torres e Velazquez, 2005). Deste modo, tem pouco efeito em moléculas com menor grau de estrutura, permitindo manter melhor a qualidade sensorial e nutritiva dos alimentos pasteurizados por pressão.

A tecnologia de alta pressão (AP), assume-se como uma tecnologia emergente, atérmica ou com reduzida aplicação de calor, de grande viabilidade na indústria alimentar. É actualmente utilizada para pasteurizar alimentos a frio e para a inactivação de enzimas (Torres e Velazquez, 2005; Castro *et al.*, 2006a; Hendrickx *et al.*, 1998) e para modificação de algumas propriedades funcionais dos alimentos (melhoria da textura e gelificação, por ex.) (Torres e Velazquez, 2005).

A crescente procura pelos consumidores cada vez mais exigentes, de produtos de melhor qualidade nutritiva e sensorial, minimamente processados, com características tão próximas quanto possível ao produto “in-natura”, sem aditivos, mas seguros do ponto de vista microbiológico, tem levado à busca de novos processos capazes de destruir microrganismos, mas que não alterem as características dos produtos processados. De todas as tecnologias que têm sido estudadas nos últimos anos para este fim, a aplicação de AP é claramente hoje a que é reconhecida como de maior potencial e a que já possibilita a produção de alimentos a nível industrial. Actualmente, existem no mercado Europeu sumos de frutos pasteurizados a frio por AP (em Portugal) e produtos cárneos também processados por AP (em Espanha), mas cujo processamento não visa a pasteurização. Portugal e Espanha assumem-se portanto como dois países de vanguarda na utilização desta tecnologia na área alimentar. Nos Estados Unidos da América, existem já várias empresas que processam ostras por AP e uma que produz *Guacamole* (um puré de pêra abacate) processado por AP, com distribuição e venda a nível nacional (Torres e Velazquez, 2005).

Para dar uma ideia do interesse que esta tecnologia tem despertado, Torres e Velazquez, (2005) referem que os artigos científicos publicados cresceram de aproximadamente 100 nos anos 80 para 2000 na década de 90 e mais de 1000 a partir de 2000, no que diz respeito a estudos que envolvem a utilização de AP em alimentos.

O processamento de AP caracteriza-se ainda pelas seguintes vantagens, em relação a outros tipos de processamento: a independência do tamanho e da geometria dos

produtos/embalagens durante o processamento, a possibilidade do tratamento a baixas temperaturas e a existência de poucos resíduos após processamento, sendo uma tecnologia amiga do ambiente.

Recentemente, foi descrita a possibilidade de inactivação de esporos, por combinação simultânea de AP e temperatura (moderada) (Matser *et al.*, 2004), o que permite antever a possibilidade de esterilizar alimentos por alta pressão, com qualidade sensorial e nutritiva muito superior aos produtos esterilizados só por temperatura.

A estabilidade bária (à pressão) das enzimas pode variar bastante de enzima para enzima e ser também diferente da estabilidade térmica (Hendrickx *et al.*, 1998). O comportamento das enzimas sob o efeito da AP pode dividir-se em 4 grupos distintos: i) enzimas que inactivam de forma completa e irreversível, ii) enzimas que inactivam completamente mas com carácter de reversibilidade, iii) enzimas que inactivam de forma incompleta e irreversível e iv) enzimas que inactivam de forma incompleta e com carácter de reversibilidade. As enzimas de maior relevância em alimentos de origem vegetal, pectina metilesterase, polifenoloxidase e peroxidase, e outras como a lipase e a lipoxigenase mostram todos estes comportamentos dependendo das pressões utilizadas, da temperatura e das condições do meio (p. ex., pH e presença de Ca^{2+}). Por ex., as enzimas peroxidase e pectina metilesterase são bastante resistentes à temperatura e à pressão, enquanto a polifenoloxidase é pouco resistente à temperatura mas razoavelmente resistente à pressão. Esta última enzima pode mesmo ser activada pela pressão, ou seja, após ser submetida à pressão apresenta uma actividade superior (Gomes e Ledward, 1996). Tratamentos combinados de pressão e temperatura podem também alterar a actividade das enzimas, ocorrendo, quer efeitos sinérgicos, quer efeitos antagónicos, como por ex., para a pectina metilesterase (Castro *et al.*, 2006b).

Além da conservação de alimentos, o processamento por alta pressão abre a possibilidade de produzir alimentos com texturas diferentes, por exemplo, em carne, peixe e lacticínios (Hendrickx *et al.*, 1998). Neste sentido, Torres e Velazquez, (2005) afirmam mesmo que esta é a única tecnologia de processamento de alimentos capaz de fornecer ao consumidor uma grande variedade de novos produtos.

Da alteração das propriedades funcionais dos alimentos e de macromoléculas, como as proteínas e o amido, pela acção da pressão podem resultar possíveis benefícios, tais como a obtenção de alimentos com novas características. Um exemplo é a obtenção de géis a partir de amido ou proteínas com aplicação de altas pressões, os quais podem diferir nas suas propriedades,

dos géis obtidos por aquecimento. A sensibilidade da celulose à hidrólise enzimática (Murao *et al.*, 1992) e amido (Saraiva *et al.*, 2003) pode também ser alterada por pressurização, permitindo a obtenção mais fácil dos monómeros destas macromoléculas.

A gelatinização do amido de trigo e da batata foi estudada por Douzals *et al.* (1996) concluindo que a gelatinização dos grânulos de amido de trigo começa abaixo dos 300 MPa e dá-se por completo até aos 600 MPa. Já o amido de batata não sofre alteração em relação ao seu estado normal até aos 600 MPa. Mas para esta gama de pressões, Blaszcak *et al.* (2005) verificaram uma diminuição das temperaturas de gelatinização e o aumento da resistência da estrutura da superfície dos grânulos de amido de batata, quando comparado com o estado nativo. É de realçar que para muitas situações, a modificação das propriedades funcionais de alimentos e macromoléculas necessita de pressões significativamente menores que a pasteurização de alimentos, o que faz com que possam ser utilizados equipamentos de pressão de menores custos.

Alguns estudos indicam que tratamentos de AP que não destroem os microrganismos, ainda assim podem alterar o seu metabolismo e a sua fisiologia (Manas e Mackey, 2004; Ritz *et al.*, 2002; Ritz *et al.*, 2001), provavelmente devido aos efeitos da AP em enzimas do metabolismo e na estrutura da membrana celular, revelando deste modo, efeitos sub-letais da alta pressão. Estas alterações no metabolismo e na fisiologia podem ser usadas em situações práticas. Por ex., Linton *et al.* (2000) verificaram que *Escherichia coli* O157:H7 (um microrganismo patogénico importante em alimentos), depois de ser submetido a AP sub-letal, apresenta menor resistência à inativação pela temperatura. Deste modo, a aplicação combinada, sequencial, de AP seguida de tratamentos térmicos, pode permitir reduzir o tratamento térmico aplicado para garantir o mesmo grau de destruição deste microrganismo. Já Ananta e Knorr (2003) verificaram um efeito contrário, quando *Lactobacillus rhamnosus* GG era submetido a tratamentos sub-letais de AP: o microrganismo tornava-se mais resistente à temperatura, o que neste caso é desejável, dado este ser um microrganismo probiótico. Resultados semelhantes aos obtidos por Linton *et al.* (2000), foram posteriormente obtidos por Ferreira *et al.* (2005) para *Salmonella enterica*, serótipo enteritidis, verificando-se que após os tratamentos sub-letais de AP a resistência térmica do microrganismo era bastante menor, pois à mesma temperatura de inativação era necessário metade a um terço do tempo de inativação para conseguir uma redução igual no número de microrganismos. Este resultado abre excelentes perspectivas para o processamento combinado, sequencial, de AP seguida de temperatura, para pasteurização de ovos, garantindo o mesmo grau de segurança

microbiológica, com um tratamento térmico menos severo, e, consequentemente, com um menor impacto na alteração das propriedades funcionais do ovo pasteurizado.

Com base nos resultados obtidos pelos tratamentos sub-letais no metabolismo e na fisiologia de microrganismos, Saraiva *et al.* (2004), colocaram a hipótese de poder ocorrer uma situação semelhante no metabolismo e na fisiologia de tecidos de origem vegetal. Para testar esta hipótese estes investigadores submeteram sementes de ervilhas a tratamentos de AP na gama (500 atm) dos tratamentos sub-letais que se verificou alterarem o metabolismos e a fisiologia de microrganismos, tendo estudado o efeito destes tratamentos de AP na germinação das ervilhas. Foi verificado que as sementes submetidas a AP demoravam mais tempo a germinar e apresentavam um menor número de folhas, nas plantas resultantes da germinação. A actividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase, nas folhas das plantas que resultaram das sementes submetidas a AP era cerca do dobro da actividade das mesmas enzimas nas folhas das sementes não submetidas a AP. Estes resultados sustentam a possibilidade apresentada, confirmando que tratamentos de AP moderados podem alterar o metabolismo e a fisiologia de tecidos vegetais, inibindo, no caso estudado a germinação das sementes de ervilha. Perante este resultado, foi decidido estudar o efeito de tratamentos moderados de AP na germinação de outro alimento de maior relevância comercial. Assim, escolheu-se a batata, dada a sua relevância comercial e o interesse em inibir o seu abrolhamento, sendo os resultados apresentados neste trabalho. Neste trabalho, foi também estudado o efeito de tratamentos térmicos de curta duração no abrolhamento de tubérculos de batata. Estudou-se ainda o efeito no abrolhamento, de tratamentos combinados de AP e temperatura e de tratamentos a temperaturas entre 5°C a - 20°C. Assim, o objectivo deste trabalho foi verificar o efeito dos tratamentos físicos indicados, no abrolhamento de tubérculos de batata, para verificar da possibilidade da sua utilização no controlo do abrolhamento.

II. Material e Métodos

2.1 Amostras de Batatas

Em todo o estudo foram utilizados tubérculos de batata da cultivar “Desireé”, produzidos em campos do centro do país, nas regiões de Aveiro e de Mortágua, e colhidos entre Julho e Setembro dos anos de 2003 e 2004 (Figuras 2.1.1 e 2.1.2). Após a colheita foram seleccionados tubérculos de tamanho idêntico, sem manifestação de doença ou ataque de pragas, que foram armazenados protegidos da incidência directa da luz solar à temperatura e humidade relativa ambientes, até à realização das experiências. O tamanho médio de todos os tubérculos usados neste estudo foi de 26,4 g, com um desvio padrão de 5,7 g. Para a realização das experiências, foram retirados tubérculos, que depois de lavados e secos, se submeteram aos diferentes tratamentos de pressão e temperatura. A Tabela 2.1.1 indica a que tratamentos foram submetidos, em que data e em que condições os tubérculos de cada colheita foram colocados a abrolhar, após os tratamentos, para estudar o efeito dos tratamentos no abrolhamento. A Tabela 2.1.1 indica ainda em que ponto do capítulo dos resultados são apresentados os resultados de cada conjunto de experiências apresentadas na mesma tabela.

Antes de cada experiência, quando se verificou que os tubérculos apresentavam abrolhamento, foram retirados todos os brotos existentes antes de submeter os tubérculos aos tratamentos.

Tabela 2.1.1 – Relação entre as colheitas dos tubérculos de batata usados e os tratamentos aplicados, bem como as condições de armazenamento dos tubérculos para abrolhamento

Ano de colheita	Local de colheita	Tratamento (ponto em que são apresentados os resultados)	Data da experiência	Condições de abrolhamento
2003	Mortágua	Pressão (3.1.1)	Jan./Fev. 2004	Câmara com luz difusa
2003	Mortágua	Pressão (3.1.2)	Maio/Junho 2004	Ambiente
2003	Aveiro	Temperatura (3.2.1 e 3.2.2)	Maio/Junho/Julho 2004	Ambiente
2004	Mortágua	Temperaturas de refrigeração (3.2.3)	Nov./Dez. 2004	Ambiente
2004	Mortágua	Temperaturas negativas (3.2.4)	Jan./Fev. 2005	Ambiente
2004	Mortágua	Combinação de pressão e temperatura (3.3.1)	Nov./Dez. 2004	Ambiente
2004	Mortágua	Combinação de temperatura e pressão (3.3.2)	Dez. 2004/Jan. 2005	Ambiente
2004	Mortágua	Pressão, temperatura e combinação de pressão e temperatura e temperatura e pressão (3.4)	Março/Maio 2005	Câmara na ausência de luz



Figura 2.1.1 - Batatas da cultivar “Desireé” da colheita de 2003 utilizadas neste trabalho



Figura 2.1.2 - Batatas da cultivar “Desireé” da colheita de 2004 utilizadas neste trabalho

2.2 Tratamentos por Alta Pressão

Amostras constituídas por 6 tubérculos de batata, foram colocadas em sacos de plástico de polietileno de baixa densidade, que foram selados a quente, tendo-se previamente retirado o ar, com uma máquina de vácuo e de selar (*Euro-Pack*, TMA-02-G/DS, Holanda), de modo a evitar a presença de ar dentro da embalagem (Figura 2.2.1). Antes de se proceder ao embalamento, os tubérculos foram identificados e registado o peso de cada um. De seguida procedeu-se aos tratamentos de pressão, numa prensa isostática (*Autoclave Engineers, Inc.*, Estados Unidos da América) com diâmetro de 8 cm e altura de 55 cm, ambos internos/utilizáveis (Figura 2.2.2), à temperatura ambiente, usando como fluido de compressão uma mistura de água (90%) e óleo lubrificante solúvel (10%) da *Kluber* (CO 6-468 PS). O tempo para se atingir a pressão desejada assim como o tempo de despressurização foi de cerca de 15-20 seg.



Figura 2.2.1 - Batatas preparadas para os tratamentos de pressão.

Vaso onde é feita
a compressão



Figura 2.2.2 - Prensa isostática usada nos tratamentos de pressão.

A tabela 2.2.1 apresenta os valores de pressão usados nos tratamentos de AP, bem como a duração dos mesmos.

Tabela 2.2.1 – Tratamentos de pressão e sua duração, a que foram submetidos os tubérculos.

Pressão (atm)	Tempo (min)
150	10
300	5, 10 e 5+5*
500	5, 10 e 5+5*
1000	5 e 10

*Após um tratamento de pressão, procedeu-se à despressurização e a um segundo tratamento de pressão

2.3 Tratamentos Térmicos

Para os tratamentos térmicos, conjuntos de 6 tubérculos foram embalados do mesmo modo que para os tratamentos de pressão. Os tratamentos térmicos às temperaturas de 55, 60, 65, 70, 75 e 80°C foram efectuados num banho termostatzado (*Selecta, Tectron Bio 3773100*, Espanha), à respectiva temperatura, por imersão do saco de plástico contendo os tubérculos.

Os tratamentos térmicos às temperaturas de refrigeração e às temperaturas de congelação, foram realizados no mesmo banho termostatzado, utilizando uma solução de cloreto de cálcio (com densidade de 1,208) em substituição da água, usando uma coluna de refrigeração (*Selecta, Frigedor 3001214*, Espanha).

Após os tratamentos térmicos, deixou-se que os tubérculos atingissem a temperatura ambiente ao ar. A Tabela 2.3.1 apresenta as temperaturas a que os tubérculos foram submetidos, bem como a duração de cada tratamento.

Tabela 2.3.1 – Tratamentos térmicos e sua duração, a que foram submetidos os tubérculos

Temperatura (°C)	Tempo (min)
55	15
80	1
60, 65 e 70	1, 3 e 5
5, 1 e – 5	1 e 2
- 10, -15 e – 20	1, 3 e 5

2.4 Condições de Abrolhamento

Uma vez tratados os tubérculos, estes foram retirados dos respectivos sacos e colocados a abrolhar acompanhados do respectivo controlo, constituído também por 6 tubérculos e que, não sofreram qualquer tratamento para além das operações de embalamento.

Os tubérculos foram colocados a abrolhar em 3 condições diferentes:

- em câmara (CCI, CC 70/04, Espanha) com temperatura e humidade relativa controladas (18°C e 80-85%, respectivamente) e com luz natural difusa, dado a câmara possuir uma janela (Figura 2.4.1);
- em condições de temperatura ambiente, com luz natural, mas ao abrigo da incidência directa dos raios solares. As batatas foram colocadas em caixas perfuradas colocadas sobre outras que continham água, para manter a humidade relativa elevada, como se mostra na Figura 2.4.2. A distância das batatas à superfície da água foi igual em todos os casos (4 cm) e foi mantida constante ao longo do período de armazenamento. Foi feito o registo da temperatura e da humidade relativa, usando um medidor de temperatura e humidade (*Sato*, SK-L200 TH, Japão), com uma frequência de registo de uma hora;
- em câmara com temperatura e humidade relativa controladas (respectivamente, 18-20°C e entre 80 e 85%, na ausência total de luz, para o que se tapou a janela da câmara.



Figura 2.4.1 - Batatas preparadas para abrolhamento em câmara

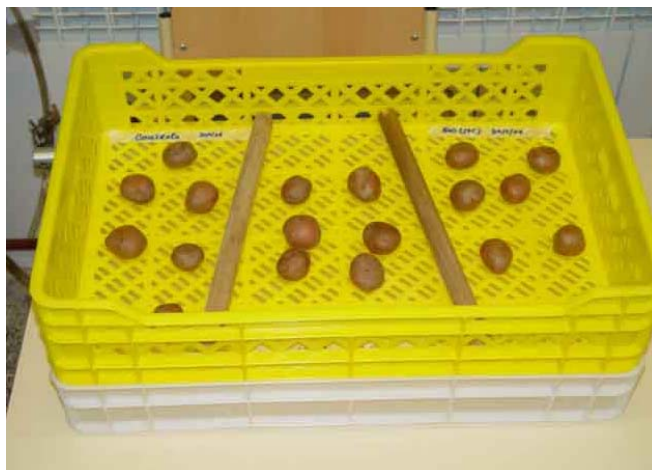


Figura 2.4.2 - Batatas preparadas para abrolhamento em condições ambientais

Os tubérculos foram deixados a abrolhar, durante cerca de 6 semanas (43 dias) ou oito semanas **57** dias). A evolução do abrolhamento foi quantificada pelo registo periódico do número de batatas abrolhadas, número de brotos por batata e comprimento total dos brotos. Para esta quantificação, foram apenas considerados os brotos com comprimento igual ou superior a 3 mm, critério que consta da norma NP-3063 (1985) como valor máximo para batata de consumo. No final de cada período de abrolhamento foi ainda registada a massa total dos brotos, tendo-se também calculado o rácio comprimento/massa total de brotos. Deste modo, pretendeu-se avaliar o efeito dos tratamentos na inibição do abrolhamento, pelo número de batatas abrolhadas e número de brotos por batata, enquanto que com o comprimento e massa dos brotos e o rácio entre estes dois parâmetros pretendeu-se avaliar o efeito dos tratamentos no desenvolvimento dos brotos. Foram também efectuados registos fotográficos ao longo do período de abrolhamento.

2.5 Determinação das Constantes Cinéticas

Verificou-se que o comprimento dos brotos ao longo do tempo, apresentava, após uma fase inicial, uma evolução linear, seguindo assim uma cinética de ordem zero, que é descrita matematicamente, da seguinte forma:

$$C = C_0 + kt \quad \text{Equação 2.5.1}$$

em que C é o comprimento dos brotos (mm) após um determinado tempo, t , de armazenamento, C_0 é a estimativa do comprimento inicial (mm) dos brotos, k é a constante cinética de aumento do comprimento dos brotos (mm/dia) e t o tempo (dias). A constante cinética, k , foi estimada por regressão linear, o que foi feito neste trabalho, usando o procedimento de regressão linear do Microsoft Excel 2003 (Microsoft, Seattle, EUA).

2.6 Análise Estatística dos Resultados

Para o valor médio do comprimento e massa dos brotos e o rácio destes dois parâmetros, usou-se a análise de variância (ANOVA), utilizando o algoritmo incluído no Microsoft Excel 2003 (Microsoft, Seattle, EUA), para verificar a existência de efeitos estatisticamente significativos ($p < 0,05$) dos tratamentos aplicados. Sempre que foram observadas diferenças significativas, foi utilizado o teste de comparação múltipla *Student-Newman-Keuls (SNK)* para identificar os tratamentos que apresentavam resultados significativamente diferentes ($p < 0,05$). Este teste foi usado, entre outros possíveis, que permitem a comparação múltipla de resultados, como por ex., o *Fisher's Least Significant Difference (LSD)*, *Tukey's Honestly Significant Difference (HSD)* e *Duncan's Multiple Range Test*, dado que o teste SNK é indicado na literatura, como o mais equilibrado destes testes (Gardiner, 1997). Sendo assim o teste SNK situa-se entre os testes ditos mais conservativos, que com maior dificuldade permitem identificar diferenças significativas e têm maior propensão para produzir “falsos negativos” e os testes ditos mais liberais, que proporcionam o oposto e por isso produzem mais facilmente “falsos positivos”.

Para comparar as constantes cinéticas, usou-se o teste t de *student* (Gardiner, 1997). O valor de t estatístico foi calculado do seguinte modo:

$$t = \frac{|k_p - k|}{S_{kp}} \quad \text{Equação 2.6.1}$$

Em que k_p e k são, respectivamente, a constante cinética que se quer comparar e a constante cinética que se usa para comparação e S_{kp} o desvio padrão obtido na regressão para k_p .

O valor crítico de t foi obtido da tabela de distribuição dos valores críticos de t de *student*, considerando $t_{\alpha/2, n-2}$ (Gardiner, 1997). Como hipótese nula, H_0 , considerou-se $k_P = k$ e hipótese alternativa, H_1 : $k_P \neq k$. Considerou-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

III. Discussão de Resultados

3.1 Efeito de Tratamentos de Pressão

Para facilitar a identificação do tratamento de AP aplicado a cada amostra, usa-se em todo o trabalho a seguinte terminologia: apresenta-se primeiro a letra “P” seguida do valor de pressão a que as amostras foram submetidas, sem indicação das unidades, sendo que os valores são sempre apresentados em atmosferas, seguido do tempo, entre parêntesis, a que as amostras foram sujeitas a pressão, também sem indicação das unidades, sendo o tempo apresentado sempre em minutos. A Tabela 3.1.1 apresenta os tratamentos de pressão, cujos resultados são discutidos nos pontos 3.1.1 e 3.1.2.

Tabela 3.1.1 - Identificação dos tratamentos de pressão

Tratamento aplicado	Identificação do tratamento
300 atmosferas durante 5 minutos	P300(5)
300 atmosferas durante 5 minutos, seguido de despressurização e novamente 300 atmosferas durante mais 5 minutos	P300(5+5)
300 atmosferas durante 10 minutos	P300(10)
500 atmosferas durante 5 minutos	P500(5)
500 atmosferas durante 5 minutos, seguido de despressurização e novamente 500 atmosferas durante mais 5 minutos	P500(5+5)
500 atmosferas durante 10 minutos	P500(10)
1000 atmosferas durante 5 minutos	P1000(5)
1000 atmosferas durante 10 minutos	P1000(10)

A estratégia inerente à aplicação de tratamentos de pressão com duas pressurizações (dois ciclos de pressão), de duração total igual a tratamentos à mesma pressão só com uma

pressurização, está relacionada com o facto de na literatura existirem alguns exemplos de que se poderão obter resultados diferentes. Salienta-se a possibilidade de esterilizar alimentos com dois ciclos de pressão (Meyer *et al.*, 2000) o que não se consegue com aplicação de apenas um ciclo e os resultados obtidos no Grupo de Química dos Alimentos da Universidade de Aveiro (Saraiva *et al.*, 2003) relativamente ao efeito de tratamentos de pressão na sensibilidade à hidrólise de amido pela enzima α -amilase. Neste último trabalho verificou-se que, enquanto um ciclo de pressão torna o amido mais hidrolisável, dois ciclos à mesma pressão e durante um tempo total igual, ao caso de um ciclo de pressão, permite obter amido menos sensível à hidrólise. Neste sentido, com as experiências com ciclos de pressão pretendeu-se avaliar se estas poderão ser mais eficientes em termos de inibição/retardamento do abrolhamento.

3.1.1 Armazenamento em câmara

No sentido de poder estudar o efeito dos tratamentos de AP no abrolhamento em condições controladas de temperatura e humidade relativa, realizou-se uma experiência, em que os tubérculos foram colocados em câmara com temperatura e humidade relativa controladas (18°C e 80-85%, respectivamente). A temperatura usada foi escolhida com o intuito de promover o abrolhamento, para que o estudo não se prolongasse muito no tempo. Quanto à humidade relativa, usou-se um valor dentro da gama que se considera adequada para o armazenamento dos tubérculos de batata. Quanto à luz, dado que a câmara usada tinha uma janela de vidro, o abrolhamento foi estudado em condições de luz natural difusa.

Para os tratamentos de AP usaram-se 300 e 500 atm (5, 5+5 e 10 min em ambos os casos). As figuras que se seguem mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, quantificado ao nível da percentagem das batatas abrolhadas (Figura 3.1.1), do número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.1.2) e do comprimento total dos brotos (Figura 3.1.3), no controlo e nas amostras sujeitas aos diferentes tratamentos de pressão. No final do estudo foi quantificada a massa total de brotos (Figura 3.1.4) e avaliada a relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa (Figura 3.1.5). Os valores obtidos no final do estudo são apresentados na Tabela 3.1.2.

Tabela 3.1.2 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 42 dias de armazenamento

Tratamentos	Batatas abrolhadas (%)	Nº de brolos/batata abrolhada	Comprimento total dos brolos (mm)	Massa total de brolos (g)	Comprimento/massa de brolos (mm/g)
Controlo	100	2,5	343,5	3,64	94,4
300(5)	100	2,8	246,5	2,55	96,7
300(5+5)	83,3	3,6	324,0	2,80	115,7
300(10)	100	2,5	252,0	2,29	110,0
500(5)	100	1,5	138,6	1,48	93,6
500(5+5)	100	2,5	190,5	2,77	68,8
500(10)	100	2,7	249,6	2,57	97,1

Como se pode ver pela Figura 3.1.1, a evolução da percentagem de batatas abrolhadas é, de uma forma geral, semelhante entre os tubérculos submetidos a AP e os tubérculos da amostra controlo, com excepção do tratamento P300(5+5), que apesar de apresentar uma evolução no início semelhante às outras amostras, tem depois uma evolução mais lenta. A partir do 33º dia, com excepção do tratamento P300(5+5), todas as batatas, no controlo e em qualquer um dos tratamentos, estão já abrolhadas.

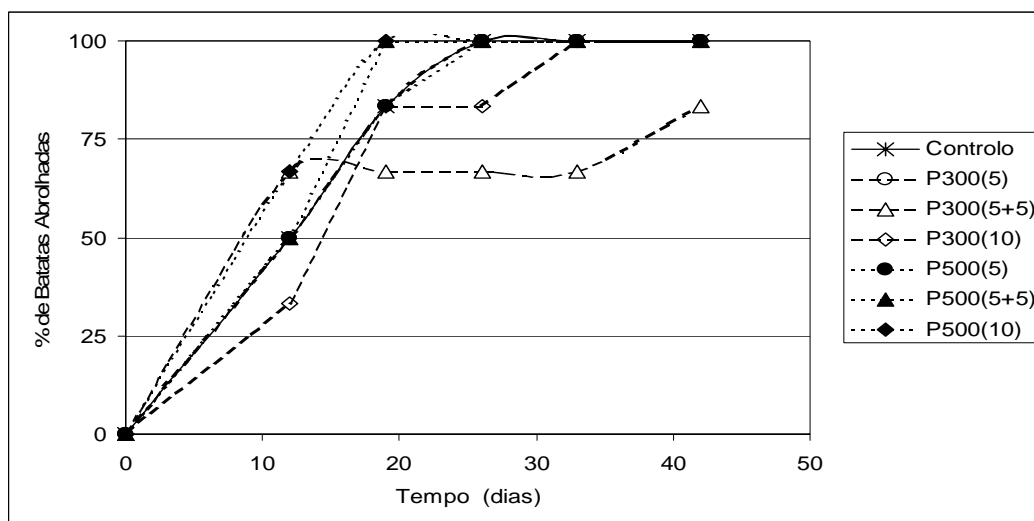


Figura 3.1.1 - Percentagem de batatas abrolhadas

O número de brotos por batata abrohada (Figura 3.1.2) começa por ser maior no controlo (12º dia de armazenamento) que em qualquer um dos tratamentos de pressão. No entanto, a partir do 19º dia esta tendência vai-se esbatendo e ao 26º dia e seguintes, este parâmetro, nos tratamentos de pressão, com excepção do tratamento P500(5), iguala ou supera a do controlo. No entanto, verifica-se uma tendência para o número de brotos por batata abrohada ser menor com os tratamentos a 500 atm que a 300 atm, reflectindo um efeito inibidor neste parâmetro. Pelos resultados da percentagem de batatas abrohadas e do número de brotos por batata abrohada, conclui-se que os tratamentos de AP causam uma ligeira inibição no início do abrohamento.

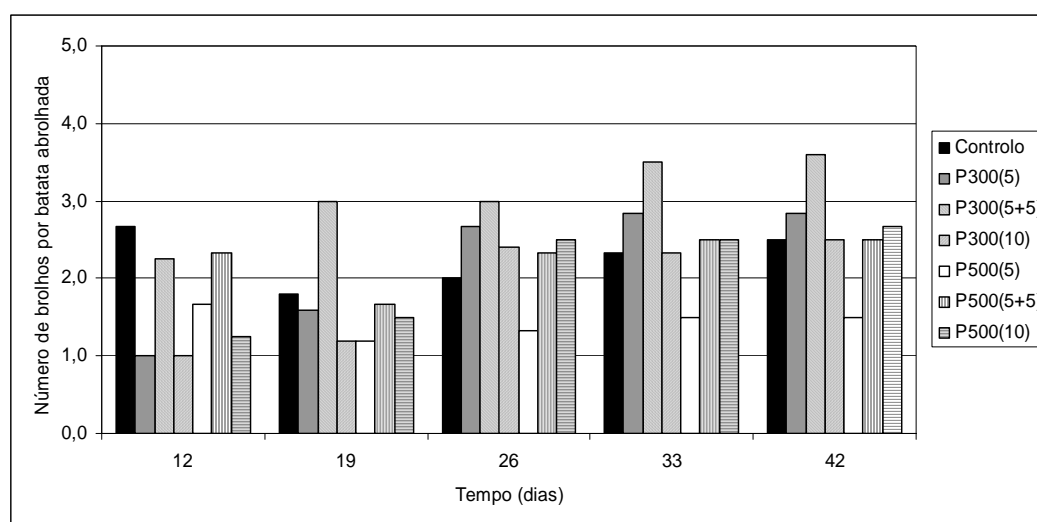


Figura 3.1.2 - Número de brotos por batata abrohada

O comprimento dos brotos é maior no controlo que nos tubérculos tratados por AP (Figura 3.1.3), e nestes é menor no caso dos tratamentos P500(5) e P500(5+5), no fim do estudo. A evolução do comprimento dos brotos ao longo do tempo, apresenta uma cinética de ordem zero, em que a constante cinética é superior para o controlo em relação a todos os tratamentos de pressão, e nestes, é inferior para P500(5) e P500(5+5) ($p < 0,05$) (Tabela 3.1.3). Estes resultados indicam que os tratamentos de AP causam uma significativa inibição do desenvolvimento dos brotos, no que se refere ao seu comprimento.

A Figura 3.1.4 mostra que a massa de brotos é maior no controlo que em qualquer um dos tratamentos de AP, indicando uma inibição do desenvolvimento dos brotos causada pelos tratamentos de AP, com o efeito inibitório a ser maior para P500(5), estando de acordo com os resultados obtidos para o comprimento dos brotos.

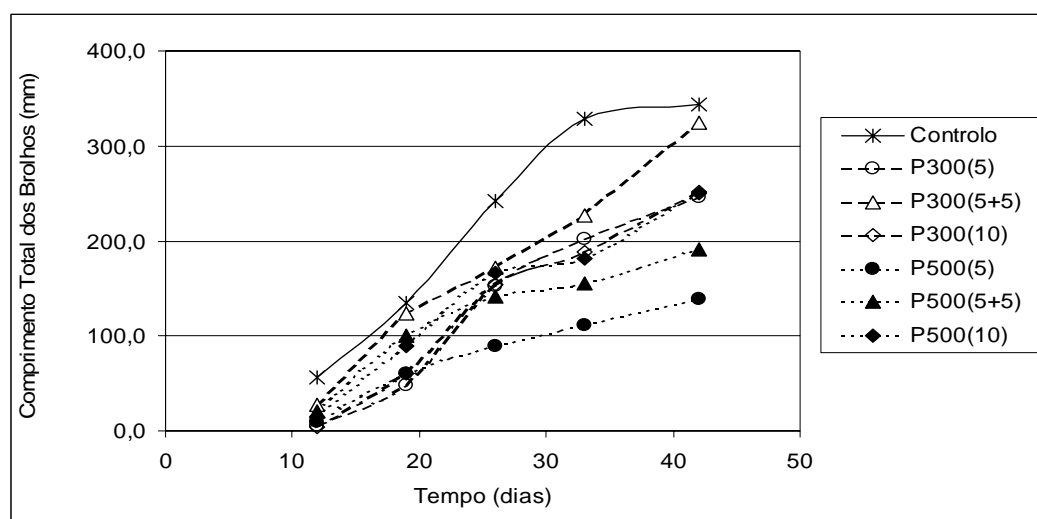


Figura 3.1.3 - Comprimento total dos brotos

Tabela 3.1.3 - Cinética de crescimento dos brotos

Tratamentos	k (mm/dia)*	R^2	n
Controlo	13,2 (0,53) ^a	1,00	4
300(5)	8,52 (0,96) ^b	0,96	5
300(5+5)	9,43 (0,60) ^b	0,99	5
300(10)	8,40 (0,74) ^b	0,98	5
500(5)	4,13 (0,47) ^c	0,96	5
500(5+5)	3,75 (0,47) ^c	0,97	4
500(10)	7,54 (0,89) ^b	0,96	5

Entre parêntesis apresenta-se o erro padrão da regressão linear

n - número de observações utilizadas para determinação de k

* Letras diferentes indicam que k é estatisticamente diferente (teste t de *student*, $p < 0,05$)

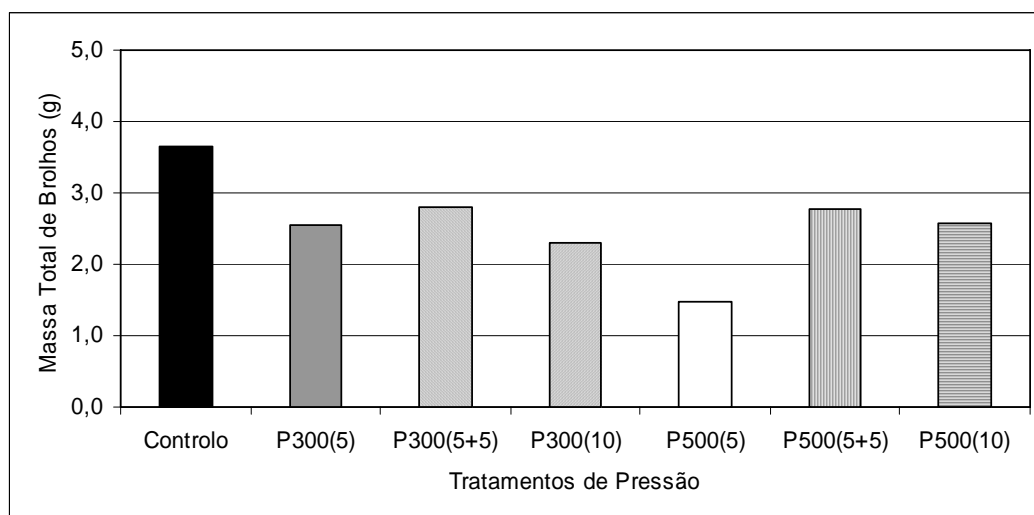


Figura 3.1.4 - Massa total de brolhos

A Figura 3.1.5 apresenta a relação entre comprimento e a massa de brolhos no final do estudo. Esta relação permite verificar eventuais alterações na morfologia dos brolhos, dado que quanto maior ela for, mais finos e longos serão os brolhos e vice-versa. Pela análise da Figura 3.1.5, pode-se verificar que relativamente ao controlo, a relação comprimento/massa de brolhos é menor para o tratamento P500(5+5), ligeiramente superior para P300(5+5) e P300(10) e igual nos restantes casos, não se verificando assim um efeito apreciável dos tratamentos de AP na morfologia dos brolhos.

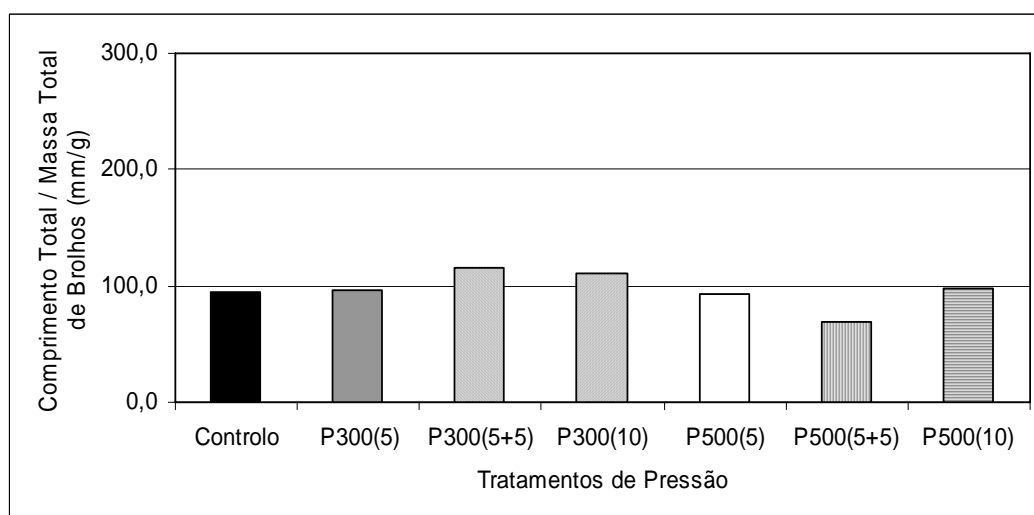


Figura 3.1.5 - Relação entre comprimento total e a massa total de brolhos

Em conclusão, verifica-se que quando os tubérculos são armazenados a 18°C, 80-85% de HR e luz difusa, os tratamentos de pressão têm pouco efeito inibidor no despoletar do abrolhamento (quantificado ao nível da percentagem de batatas abrolhadas e número de brolhos por batata abrolhada), não alteram a relação comprimento/massa dos brolhos, mas inibem o desenvolvimento dos brolhos (quantificado pela evolução do comprimento dos brolhos (constantes cinéticas menores) e pelo comprimento e massa totais de brolhos). A Figura 3.1.6 apresenta fotografias de todos os tubérculos no final do estudo.

Após a obtenção destes resultados foi decidido realizar uma experiência, em que os tubérculos tratados por AP foram colocados a abrolhar em condições ambientais. Esta opção deveu-se a duas razões principais. A primeira tem a ver com os resultados obtidos neste ponto, dado que o pouco efeito inibidor no abrolhamento dos tratamentos de AP aplicados poder-se-á dever ao facto de que com luz difusa (e com a temperatura e HR usadas) se promover uma aceleração do abrolhamento. Assim, eventuais efeitos inibidores dos tratamentos de AP seriam superados pelos tubérculos mais facilmente, dadas as condições promoverem o abrolhamento. A segunda razão está relacionada com limitações de espaço, quando os tubérculos eram armazenados em câmara. Realizando o armazenamento em condições ambientais poder-se-ia estudar o efeito de mais tratamentos ao mesmo tempo. Uma possível vantagem acrescida de realizar o armazenamento em condições ambientais, seria o de poder verificar eventuais efeitos inibidores dos tratamentos aplicados em condições que não necessitariam de temperatura e HR controladas, com óbvias vantagens económicas.



Figura 3.1.6 – Fotos dos tubérculos no final da experiência

3.1.2 Armazenamento em condições ambientais

Como os resultados apresentados no ponto anterior, indicaram que os tratamentos de AP tinham relativamente pouco efeito inibidor do abrolhamento, foi decido estudar também o efeito de um tratamento de AP a uma pressão superior (1000 atm), para verificar se a esta pressão ocorreria um efeito inibidor superior.

O armazenamento das batatas sujeitas aos tratamentos de pressão estudados neste ponto, assim como as do controlo, foi feito ao ambiente, com luz natural mas ao abrigo do contacto directo dos raios solares e com temperatura e humidade relativa ambientes. Durante esta experiência registou-se uma temperatura média de 22,2°C com um máximo de 30,3°C e um mínimo de 15,5°C e humidade relativa média de 62,3% com o máximo de 84,7% e mínimo de 38,2% (a Figura 3.1.7 mostra a variação da temperatura e HR durante o tempo que durou o estudo).

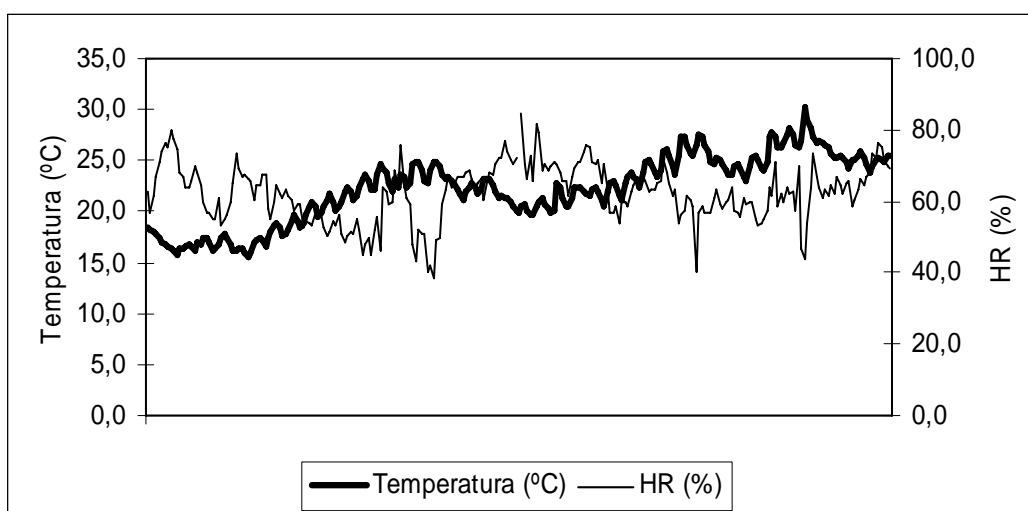


Figura 3.1.7 – Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento

Em todos os tratamentos de AP a 1000 (5 e 10 min) e 500 atm (5+5 e 10 min), não se registou abrolhamento até ao fim do ensaio (43 dias), pelo que se pode concluir que os tratamentos aplicados inibem efectivamente o abrolhamento dos tubérculos. No caso do tratamento P300(5+5) observou-se abrolhamento. Assim, parece existir, com as condições de armazenamento e com os tempos dos tratamentos de AP usados, um limite entre 300 e 500 atm que permite inibir o abrolhamento. Os resultados para o tratamento de P300(5+5) são apresentados e comparados com os dos tubérculos de controlo de seguida.

Discussão de Resultados

As figuras que se seguem mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, avaliado ao nível da percentagem de batatas abrolhadas (Figura 3.1.8) do número de brotos/ por batata abrolhada (Figura 3.1.9) e do comprimento total dos brotos (Figura 3.1.10), no controlo e nas amostras sujeitas ao tratamento de P300(5+5). No final do estudo foi quantificada a massa total de brotos e avaliada a relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa. Os valores obtidos no final do estudo, para os vários parâmetros usados para quantificar o abrolhamento, são apresentados na Tabela 3.1.4.

Verifica-se, pela análise da Figura 3.1.8 que o controlo apresenta a totalidade das batatas abrolhadas a partir do 11º dia enquanto que o tratamento P300(5+5) atinge os 50% de abrolhamento apenas aos 22 dias e ao 43º dia ainda não tinha atingido 100% de abrolhamento. Estes resultados indicam que existe um retardamento do início do abrolhamento causado pelo tratamento P300(5+5).

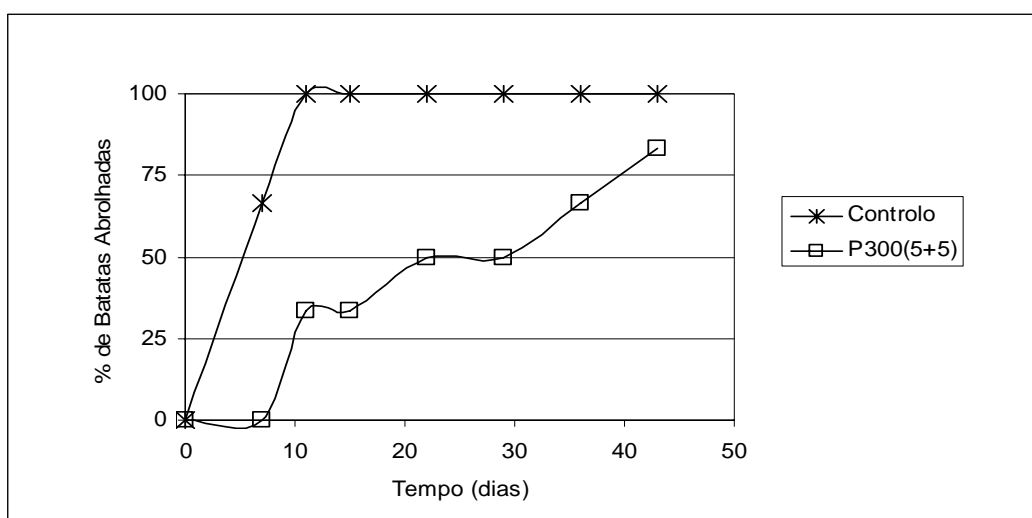


Figura 3.1.8 - Percentagem de batatas abrolhadas

O número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.1.9) é maior nas batatas do controlo que no tratamento P300(5+5). No final do ensaio, verifica-se que os tubérculos do controlo apresentam cerca de um broto a mais por batata abrolhada que os tubérculos submetidos ao tratamento P300(5+5). Isto significa que mesmo as batatas que conseguem abrolhar, depois de submetidas ao tratamento P300(5+5), o fazem com maior dificuldade.

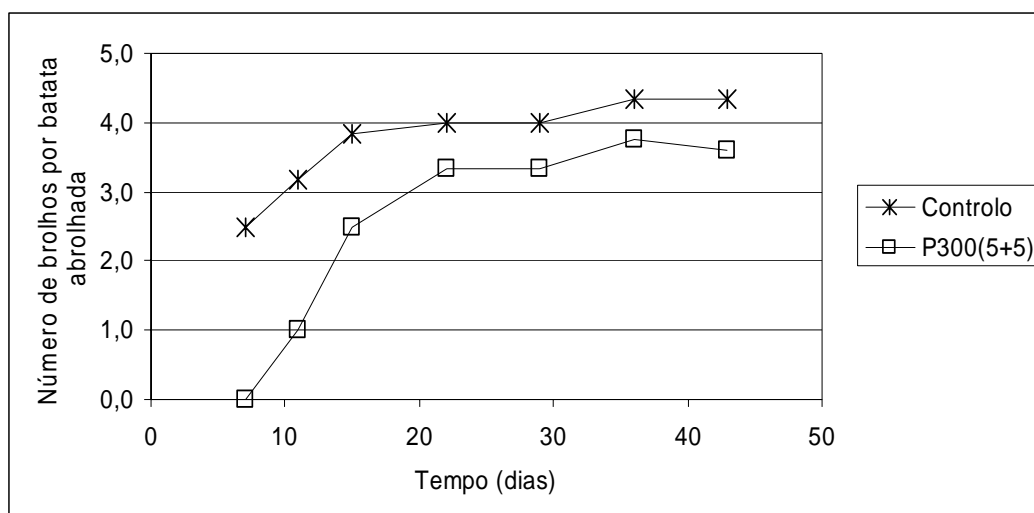


Figura 3.1.9 - Número de brotos por batata abrolhada

Também o comprimento total dos brotos (Figura 3.1.10), segue idêntica tendência, com os tubérculos da amostra controle a apresentarem, no fim do estudo, um comprimento total dos brotos cerca de 2,5 vezes superior ao dos tubérculos tratados por AP. Verifica-se ainda que o comprimento total dos brotos segue uma cinética de ordem zero, em que a constante cinética (indicada na Figura 3.1.4, seguida, entre parêntesis, do respectivo erro padrão da regressão) é maior (cerca do dobro) no controle e estatisticamente diferente ($p < 0,05$) da apresentada pela amostra tratada a P300(5+5). No final do estudo, a massa de brotos é superior em cerca de 10 vezes no controle (Tabela 3.1.4), indicando que embora ocorra a formação de brotos nas batatas tratadas a P300(5+5), estes apresentam uma massa muito menor. Assim, pode concluir-se que o tratamento P300(5+5) inibe claramente o desenvolvimento dos brotos.

A relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa é maior nas batatas tratadas a P300(5+5) em cerca de 5 vezes (Tabela 3.1.4). Deste modo, os brotos dos tubérculos tratados a P300(5+5) são mais longos e mais finos, enquanto os dos tubérculos controle são mais grossos, apresentando menor comprimento por unidade de massa (Figura 3.1.11), indicando um possível efeito do tratamento de AP na morfologia dos brotos.

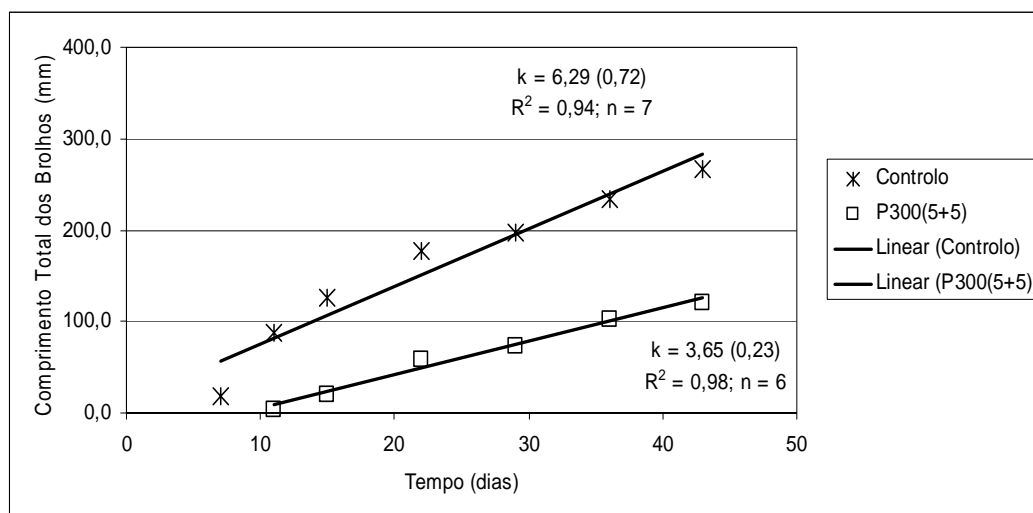


Figura 3.1.10 - Comprimento total dos brotos

Tabela 3.1.4 – Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento

	Controlo	P300(5+5)
% de batatas abrolhadas	100	83,3
Nº de brotos por batata abrolhada	4,3	3,6
Comprimento total de brotos (mm)	267,5	120,6
Massa total de brotos (g)	4,77	0,45
Comprimento / massa brotos (mm/g)	56,1	268,0

A Figura 3.1.11 apresenta uma fotografia dos tubérculos no fim do estudo. Para os tratamentos a 500 atm, apenas são apresentados 4 tubérculos, dado que dois foram usados para realizar um pequeno teste para verificar eventuais efeitos dos tratamentos na textura dos tubérculos, o que foi feito antes de os fotografar. Este teste foi feito, dado que em experiências anteriores, ao congelar em azoto líquido tubérculos submetidos a tratamentos de AP mais elevados (acima de 2000 atm) se verificou que até 1000 atm os tubérculos se comportavam como os do controlo, enquanto para 2000 atm e valores superiores, os tubérculos se comportavam de modo diferente (informação fornecida pelo Doutor Jorge Saraiva). Nestas experiências, até 1000 atm os tubérculos desintegravam-se de modo semelhante ao controlo, revelando uma rigidez dos tecidos semelhante, indicando assim que os tratamentos não afectarão a textura dos tubérculos. Para 2000 atm e pressões superiores, os tubérculos apresentavam uma desintegração menor, o que indica que terá ocorrido diminuição da rigidez dos tecidos. O mesmo teste foi realizado para o controlo e os

tratamentos P500(10) e P500(5+5), sendo os resultados apresentados na Figura 3.1.12. Como se pode ver os tratamentos a 500 atm não alteram o modo de desintegração dos tubérculos, indicando que estes tratamentos não deverão alterar a rigidez dos tecidos e portanto não deverão causar alterações na textura dos tubérculos.



a) Controlo



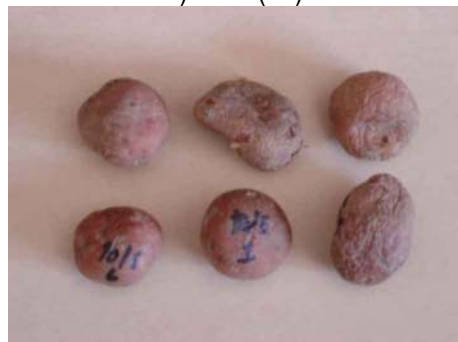
b) P300(5+5)



c) P500(10)



d) P500(5+5)



e) P1000(5)



f) P1000(10)

Figura 3.1.11 – Fotos dos tubérculos no final da experiência



Figura 3.1.12 - Fotos dos tubérculos depois de congelados em azoto líquido

Em conclusão, verificamos que foi possível inibir (todos os tratamentos de 500 e 1000 atmosferas) ou retardar significativamente (tratamentos de 300 atmosferas, 5+5 minutos) o abrolhamento em batatas tratadas por pressão quando armazenadas em ambiente de luz natural, com temperatura e humidade relativa ambientes, durante 43 dias. O valor mínimo de pressão, com os tempos de tratamento estudados para inibir o abrolhamento deverá ocorrer entre 500 e 300 atm.

Em comparação com o armazenamento em câmara com temperatura e humidade relativa controladas e menor disponibilidade de luz, os tratamentos de AP têm um efeito inibidor superior no abrolhamento, quando o armazenamento é realizado nas condições ambientais descritas neste ponto. Deste modo, as condições em que se estuda o efeito dos tratamentos de AP no abrolhamento parecem ser determinantes para o efeito observado. O facto de no ponto 3.1.2. as condições de armazenamento (temperatura e a humidade relativa) serem diferentes e variarem ao longo do armazenamento, pode explicar, pelos menos parcialmente, os resultados observados. Para esclarecer esta questão, os resultados dos controlos e do tratamento P300(5+5) obtidos nos pontos 3.1.1 e 3.1.2 são comparados na Tabela 3.1.5. Como se pode verificar, nas condições de armazenamento do ponto 3.1.1, o respectivo controlo apresenta um valor inferior para o número de brotos por batata abrolhada, mas um comprimento total maior, massa um pouco menor e relação comprimento/massa superior em cerca de dobro, que o controlo do ponto 3.1.2. Para o tratamento P300(5+5), nas condições de armazenamento do ponto 3.1.1, verifica-se que o número de brotos

por batata abrolhada é igual, mas o comprimento e a massa dos brotos são muito superiores. Estes resultados indicam que as condições de armazenamento do ponto 3.1.1 promovem o desenvolvimento dos brotos, verificando-se, um efeito inibidor menor dos tratamentos de AP. De facto, pelo que foi dito no capítulo da *Introdução*, verifica-se que as condições de armazenamento do ponto 3.1.1 são condições que promovem mais o abrolhamento. O que poderá estar a acontecer, é que os tubérculos, quando em condições que promovem mais facilmente o abrolhamento, recuperam mais facilmente dos danos causados pelos tratamentos de AP. De facto, se analisarmos os valores da constante cinética da evolução do comprimento dos brotos, verifica-se que para o controlo, nas condições de abrolhamento do ponto 3.1.1 o seu valor é cerca do dobro do controlo do ponto 3.1.2, enquanto para o tratamento P300(5+5), no ponto 3.1.1 se verifica uma constante cinética de cerca do triplo da constante cinética obtida para o mesmo tratamento no ponto 3.1.2, o que suporta a hipótese de explicação dos resultados apresentada. Não é de descartar, no entanto, um possível efeito do tempo de armazenamento dos tubérculos aquando da realização das experiências. No ponto 3.1.2, os tubérculos tinham mais cerca de 3-4 meses de armazenamento.

Conjugando os resultados obtidos nos pontos 3.1.1 e 3.1.2 (Tabela 3.1.5) com o facto de o armazenamento em condições ambientais permitir realizar mais experiências simultaneamente e ter vantagens económicas foi decidido realizar as experiências seguintes para estudar o abrolhamento, em condições de temperatura e humidade relativa ambientes.

A exaustiva pesquisa bibliográfica realizada não permitiu encontrar nenhum trabalho relativo ao efeito de tratamentos de AP em abrolhamento ou germinação, pelo que não se podem fazer comparações. Este facto também revela o carácter inovador da aplicação de tratamentos de AP para inibir o abrolhamento e germinação.

Tabela 3.1.5 – Comparação dos dados obtidos nos pontos 3.1.1 e 3.1.2

	Controlo (ponto 3.1.1)	Controlo (ponto 3.1.2)	P300(5+5) (ponto 3.1.1)	P300(5+5) (ponto 3.1.2)
Batatas abrolhadas (%)	100	100	83,3	83,3
Nº de brotos por batata abrolhada	2,5	4,3	3,6	3,6
Comprimento total de brotos (mm)	343,5	267,5	324,0	120,6
Massa total de brotos (g)	3,64	4,77	2,8	0,45
Comprimento / massa brotos (mm/g)	94,4	56,1	115,7	268,0
<i>k</i> (mm/dia)	13,2	6,29	9,43	3,65

3.2 Efeito de Tratamentos Térmicos

Ranganna *et al.* (1998) estudaram o efeito de tratamentos térmicos sobre o abrolhamento das batatas e concluíram que um tratamento térmico de 57,5°C durante 20 min inibia o abrolhamento por 6 semanas à temperatura de 18°C e 90-95% de HR, enquanto um tratamento de 30 min à mesma temperatura, era necessário para inibir o abrolhamento durante 12 semanas, nas mesmas condições de armazenamento. Dado que os tempos destes tratamentos são bastante longos, dificultando uma implementação industrial e em contínuo, foi decidido estudar o efeito de tratamentos térmicos no abrolhamento, a temperaturas mais elevadas, mas com duração temporal menor.

A Tabela 3.2.1 mostra todos os tratamentos térmicos, cujos resultados são apresentados neste subcapítulo. Para facilitar a identificação do tratamento aplicado a cada amostra, à semelhança do caso dos tratamentos de AP, usa-se em todo o trabalho a seguinte terminologia: apresenta-se a letra “T” seguida do valor de temperatura a que as amostras foram submetidas, sem indicação das unidades, sendo que os valores são sempre apresentados em graus Celsius, seguido do tempo, entre parêntesis, a que as amostras foram sujeitas a temperatura, sem indicação de unidades, sendo o tempo apresentado sempre em minutos.

Tabela 3.2.1 - Identificação dos tratamentos térmicos

Tratamento aplicado	Identificação do tratamento	Tratamento aplicado	Identificação do tratamento
55°C durante 15 minutos	T55(15)	5°C durante 1 minuto	T5(1)
80°C durante 1 minuto	T80(1)	5°C durante 2 minutos	T5(2)
60°C durante 1 minuto	T60(1)	1°C durante 1 minuto	T1(1)
60°C durante 3 minutos	T60(3)	1°C durante 2 minutos	T1(2)
60°C durante 5 minutos	T60(5)	-5°C durante 1 minuto	T-5(1)
65°C durante 1 minuto	T65(1)	-5°C durante 2 minutos	T-5(2)
65°C durante 3 minutos	T65(3)	-10°C durante 1 minuto	T-10(1)
65°C durante 5 minutos	T65(5)	-10°C durante 3 minutos	T-10(3)
70°C durante 1 minuto	T70(1)	-10°C durante 5 minutos	T-10(5)
70°C durante 3 minutos	T70(3)	-15°C durante 1 minuto	T-15(1)
70°C durante 5 minutos	T70(5)	-15°C durante 3 minutos	T-15(3)
75°C durante 1 minuto	T75(1)	-15°C durante 5 minutos	T-15(5)
75°C durante 3 minutos	T75(3)	-20°C durante 1 minuto	T-20(1)
75°C durante 5 minutos	T75(5)	-20°C durante 3 minutos	T-20(3)
		-20°C durante 5 minutos	T-20(5)

3.2.1 Efeito de tratamentos a 55°C e 80°C

Como base nos resultados obtidos por Ranganna *et al.* (1998), começou-se por fazer uma experiência preliminar, para tentar identificar condições limite em termos de temperatura/tempo que inibissem o abrolhamento e não causassem danos nos tubérculos. Para isso, submeteram-se tubérculos de batata a dois tratamentos: 55°C durante 15 minutos e 80°C durante 1 minuto. Deste modo, poder-se-ia avaliar o efeito de um tratamento térmico, relativamente moderado (T55(15)) e outro, já relativamente severo (T80(1)). O primeiro tratamento tinha como objectivo principal verificar se ainda ocorria abrolhamento e o segundo pretendia avaliar, principalmente, o impacto no tubérculo em termos de danos.

O armazenamento dos tubérculos de batata sujeitos a estes tratamentos de temperatura, assim como as do controlo, foi promovido ao ambiente, com luz natural mas ao abrigo do contacto

Discussão de Resultados

directo dos raios solares, temperatura e humidade relativa ambientes. Durante esta experiência registou-se uma temperatura média de 22,2°C com o máximo de 30,3°C e mínimo de 15,5°C e humidade relativa média de 62,3% com o máximo de 84,7% e mínimo de 38,2%, como se pode ver na Figura 3.1.7 do ponto 3.1.2.

As figuras que se seguem mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, ao nível da percentagem de batatas abrolhadas (Figura 3.2.1), do número de brolhos por batata abrolhada (Figura 3.2.2), do comprimento total dos brolhos (Figura 3.2.3), no controlo e na amostra sujeita ao tratamento T55(15). No final do armazenamento foi quantificada a massa total de brolhos e avaliada a relação entre o comprimento total dos brolhos e a sua massa (Tabela 3.2.2.). A partir desta experiência, fez-se a quantificação do comprimento e massa dos brolhos por tubérculo, pelo que para estes dois parâmetros e para a relação entre o comprimento total dos brolhos e a sua massa, se apresenta o valor médio e o respectivo desvio padrão, fazendo-se também análise de significância, usando o teste SNK, tal como está descrito no capítulo Material e Métodos.

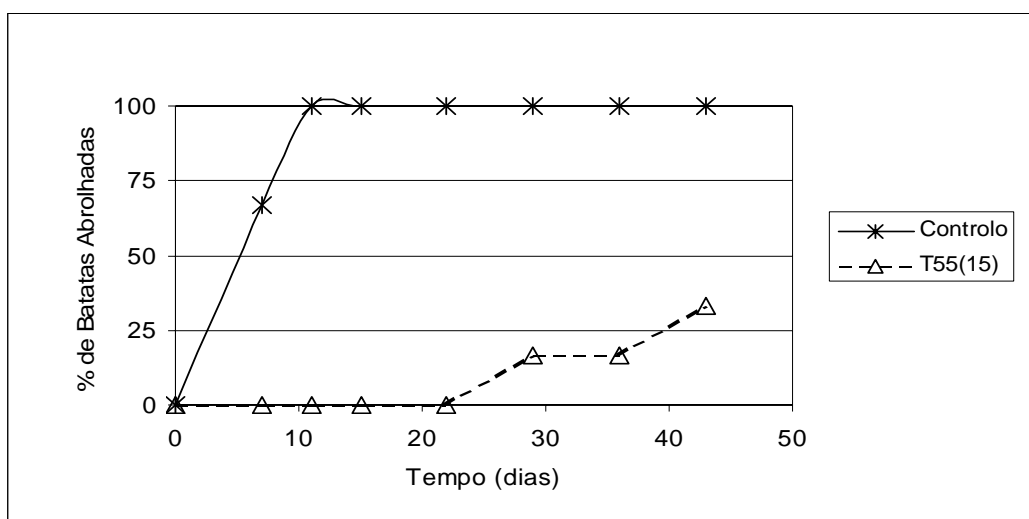


Figura 3.2.1 - Percentagem de batatas abrolhadas

Verifica-se, da análise da Figura 3.2.1, que apenas as batatas do controlo (que foi o mesmo usado nas experiências do ponto 3.1.2, dado que as experiências decorreram em simultâneo) e do tratamento térmico T55(15) apresentam abrolhamento. O controlo apresenta todas as batatas abrolhadas a partir do 11º dia enquanto que no tratamento T55(15) a taxa de abrolhamento é de apenas 33,3 % ao fim de 43 dias de armazenamento. Nas condições estudadas, durante 6 semanas (43 dias), não se verificou abrolhamento nos tubérculos submetidos ao tratamento térmico T80(1).

O número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.2.2) é maior nas batatas do controle que no tratamento T55(15), onde se verifica, no final do estudo, a ocorrência de apenas um broto por batata abrolhada.

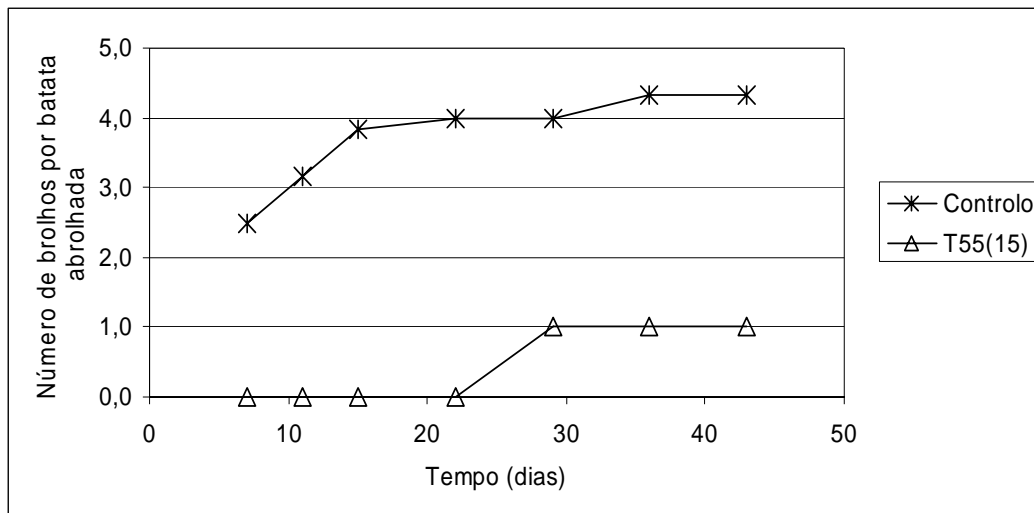


Figura 3.2.2 - Número de brotos por batata abrolhada

Verificou-se um comprimento total dos brotos maior no controle (Tabela 3.2.2), embora o valor médio não seja estatisticamente significativo relativamente ao tratamento T55(15). Quanto à cinética de evolução do comprimento dos brotos (Figura 3.2.3), segue uma cinética de ordem zero no controle com uma constante cinética de 6,29 mm/dia. No que respeita ao tratamento T55(15), dado o comprimento total dos brotos ser de apenas 15 mm, não se pode fazer nenhuma análise cinética.

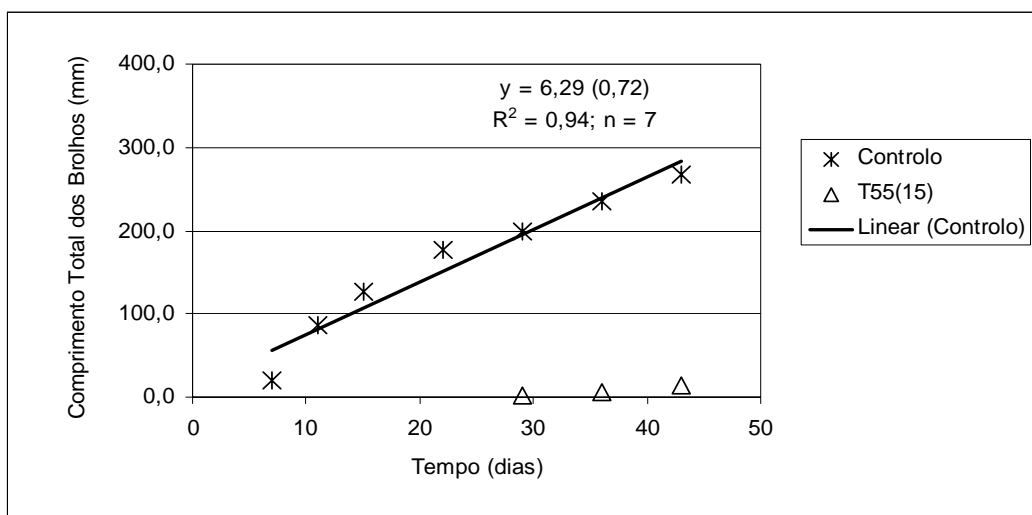


Figura 3.2.3 - Comprimento total dos brotos

A massa total de brotos é maior no controlo, embora o valor médio não seja estatisticamente significativo (Tabela 3.2.2) relativamente ao tratamento T55(15).

Apesar de o valor médio do comprimento e massa dos brotos ser bastante superior no controlo, o teste estatístico indica não existirem diferenças significativas. Isto deve-se ao valor elevado do desvio padrão. Esta grande dispersão dos resultados advém de se quantificar o comprimento e a massa de brotos em estados de desenvolvimento muito diferentes: enquanto alguns brotos ainda estão em início de desenvolvimento, outros apresentam-se já bastante desenvolvidos.

A relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa é significativamente maior ($p < 0,05$) nas batatas tratadas (T55(15)). Assim, estes brotos são mais finos, apresentando maior comprimento por unidade de massa (Figura 3.2.4), embora se deva ter em conta o reduzido valor do comprimento e massa dos brotos das batatas tratadas.

Tabela 3.2.2 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento

		Controlo	T55(15)
% de batatas abrolhadas		100	33,3
Nº de brotos batata abrolhada		4,3	1,0
Comprimento dos brotos (mm)	Total	267,5	15,0
	Média*	44,6 ^a	7,5 ^a
	(DP)	(22,3)	(0,7)
Massa de brotos (g)	Total	4,77	0,1
	Média	0,80 ^a	0,05 ^a
	(DP)	(0,50)	(0,00)
Comprimento/massa de brotos (mm/g)	Média	62,1 ^a	150,0 ^b
	(DP)	(29,2)	(14,1)

*Letras diferentes na mesma linha indicam um efeito estatisticamente significativo do tratamento (teste SNK, $p < 0,05$)

Verificou-se ainda que o tratamento térmico de 80°C por 1 minuto é demasiado severo para os tubérculos provocando lesões na sua superfície, que leva a que comece a ocorrer podridão a partir do 36º dia de armazenamento (Figura 3.2.4). A ocorrência de tubérculos podres poderá também estar relacionada com o facto de os tubérculos usados nas experiências serem da colheita de Julho a Setembro de 2003 e as experiências se terem realizado quase um ano depois, em Maio/Junho de 2004. Deste modo, os tubérculos apresentavam já sinais evidentes deste longo tempo de conservação. Como se verá à frente, nas experiências em que se usaram tubérculos da colheita de 2004, com menor tempo de conservação não se verificou a ocorrência de tubérculos podres.

Os resultados do tratamento T55(15) são semelhantes aos obtidos por Ranganna *et al.* (1998). No entanto, tempos de 15 min de tratamento são demasiado longos, nomeadamente, para aplicação industrial e em contínuo. Como o tratamento T80(1) causou lesões nos tubérculos, decidiu-se estudar o efeito de tratamentos térmicos entre estas duas temperaturas (60-75°C) e para tempos mais curtos (1-3 min), cujos resultados são apresentados de seguida.



a) Controlo



b) T55(15)



c) T80(1)

Figura 3.2.4 – Fotos dos tubérculos no final da experiência

*O número indica o dia em que apareceu o primeiro tubérculo com podridão

O teste da congelação em azoto líquido foi feito também aos tubérculos tratados a 55°C e 80°C e verificou-se que os tubérculos tratados a 55°C, revelam diminuição de rigidez (Figura 3.2.5). Isto pode ser devido ao facto de estes tubérculos terem sido tratados durante 15 min, o que permitirá que o seu interior sofra o efeito da temperatura, levando às alterações observadas. Os tubérculos submetidos ao tratamento T80(1) apresentam um comportamento semelhante aos do controlo.



Figura 3.2.5 – Fotos dos tubérculos depois de congelados em azoto líquido

3.2.2 Efeito de tratamentos a 60-75°C

O armazenamento dos tubérculos de batata sujeitos a estes tratamentos térmicos, assim como os do controlo, foi promovido ao ambiente, com luz natural mas ao abrigo do contacto directo dos raios solares, temperatura e humidade relativa ambientes. Durante esta experiência registou-se uma temperatura média de 25,8°C com o máximo de 30,5°C e mínimo de 21,0°C e humidade relativa média de 59,6% com o máximo de 84,4% e mínimo de 35,5%, como se pode ver na Figura 3.2.6.

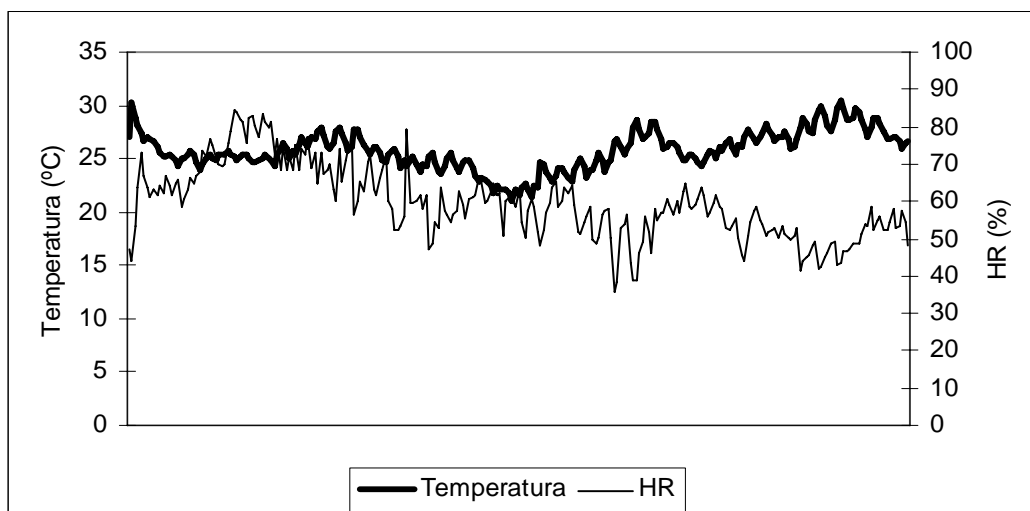


Figura 3.2.6 – Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento

As figuras que se seguem mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, ao nível da percentagem de batatas abrolhadas (Figura 3.2.7) do número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.2.8), do comprimento total dos brotos (Figura 3.2.9), no controlo e nas amostras sujeitas aos diferentes tratamentos térmicos. No final do armazenamento foi quantificada a massa total de brotos (Figura 3.2.10) e avaliada a relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa (Figura 3.2.11). O resumo destes dados é feito na Tabela 3.2.4.

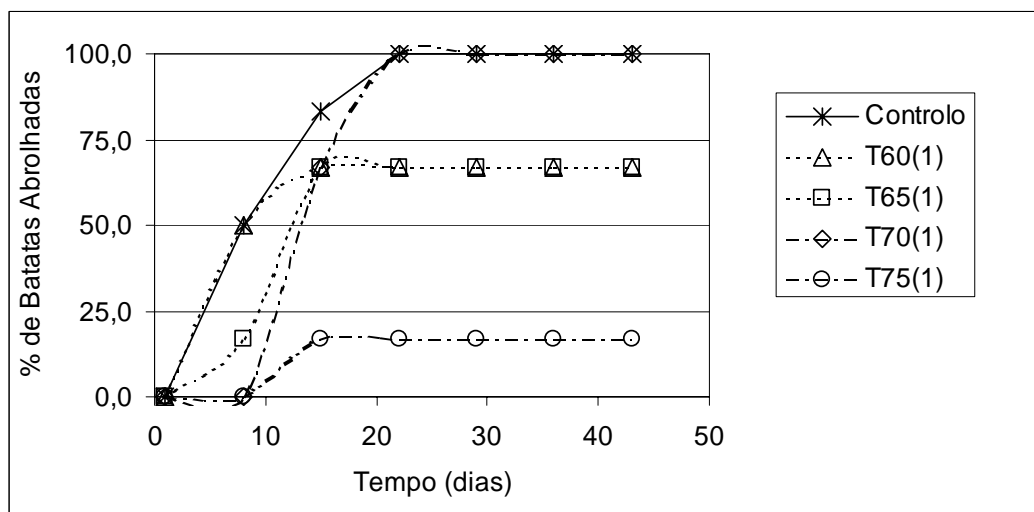


Figura 3.2.7 - Percentagem de batatas abrolhadas

No final dos 43 dias de armazenamento nenhum dos tubérculos submetidos aos tratamentos de 3 e 5 minutos, para as temperaturas de 60, 65, 70 e 75°C, apresentava brotos,

verificando-se que estes tratamentos são efectivos em inibir o abrolhamento. Assim, só se verificou a ocorrência de abrolhamento para o tratamento térmico de menor duração (1 min) para as 4 temperaturas estudadas. Por observação da Figura 3.2.7 verificamos que ao 8º dia de abrolhamento já o controlo e os tratamentos térmicos T60(1) e T65(1) apresentavam batatas abrolhadas. Ao 15º dia, verifica-se já abrolhamento nos tubérculos submetidos a 70°C e 75°C. Deste modo, para o caso de 1 min de tratamento, a inibição do abrolhamento é claramente mais eficiente para 75°C.

Resultados semelhantes verificam-se para o número de brotos por batata abrolhada, em que no início o controlo apresenta um valor superior, mas no final, apenas os tubérculos submetidos a 75°C apresentam valores menores (Figura 3.2.8).

A evolução do comprimento dos brotos apresenta uma cinética de ordem zero, com o controlo e o tratamento T70(1) a apresentarem maior comprimento total de brotos (Figura 3.2.9), e as constantes cinéticas também superiores (Tabela 3.2.3, $p < 0,05$). Do tratamento T75(1) resultou o menor valor da constante cinética. Na Figura 3.2.9 não se apresentam as rectas de regressão, dado que não se usaram todos os pontos para estimar a constante cinética, visto que para os pontos para tempos de armazenamento mais longos já não se verificava uma cinética de ordem zero, sendo que o valor do comprimento dos brotos começava a estabilizar.

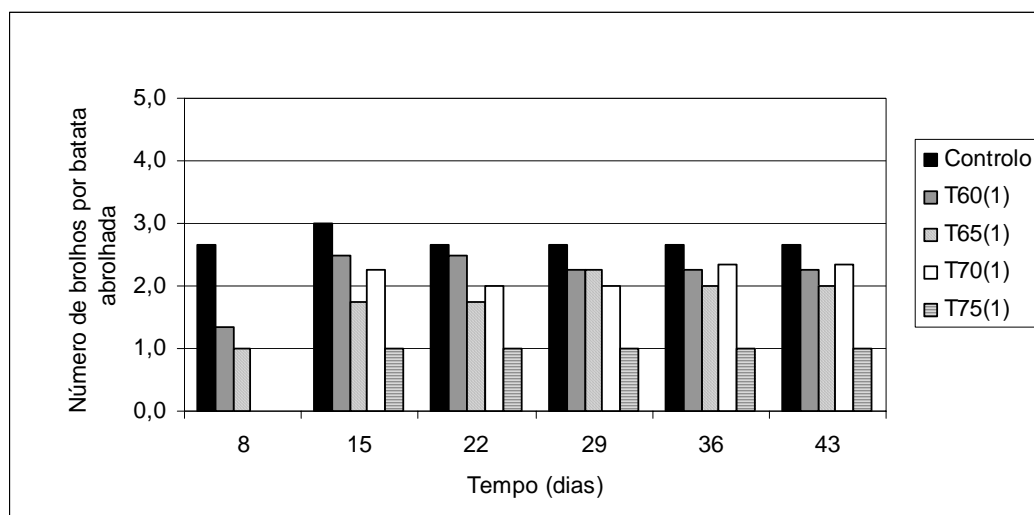


Figura 3.2.8 - Número de brotos por batata abrolhada

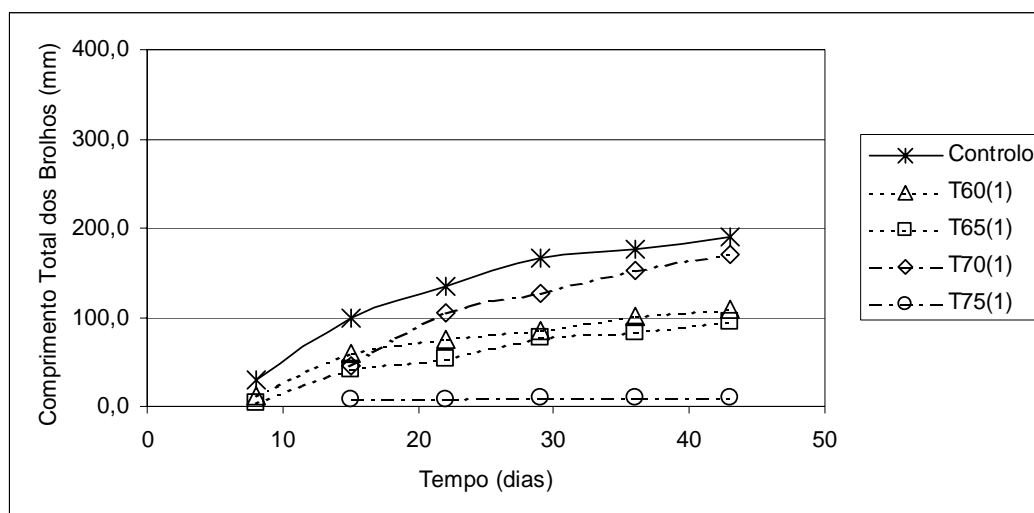


Figura 3.2.9 - Comprimento total dos brotos

Tabela 3.2.3 - Cinética de crescimento dos brotos

Tratamentos	k (mm/dia)*	R^2	n
Controlo	6,33 (0,88) ^a	0,96	4
T60(1)	1,72 (0,12) ^b	0,99	5
T65(1)	1,91 (0,22) ^b	0,96	5
T70(1)	3,15 (0,20) ^c	0,99	4
T75(1)	0,11 (0,02) ^d	0,90	5

Entre parêntesis apresenta-se erro padrão

n - número de observações utilizadas para determinação de k

* Letras diferentes indicam valores diferentes (teste t de *student*, $p < 0,05$)

A massa de brotos é maior e semelhante no controlo e no tratamento T70(1), sendo bastante menor (cerca de um décimo) para o tratamento T75(1) (Figura 3.2.10 e Tabela 3.2.4). É de realçar que os valores dos parâmetros comprimento total e massa total de brotos são sensíveis à ocorrência de tubérculos podres, como se verifica no presente caso. Assim se explica o facto de o tratamento T70(1) apresentar um valor superior para o comprimento e massa dos brotos, em relação aos tratamentos T60(1) e T65(1).

Relativamente à relação comprimento/massa de brotos (Figura 3.2.11), verifica-se que os valores obtidos para os tubérculos submetidos aos tratamentos apresentam um valor menor, particularmente para o caso do tratamento T75(1).

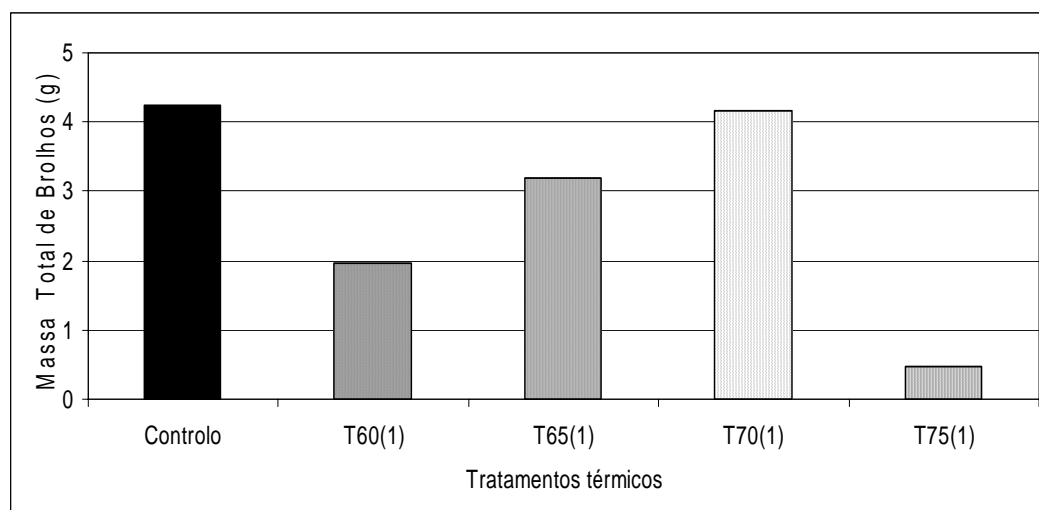


Figura 3.2.10 - Massa total de brotos

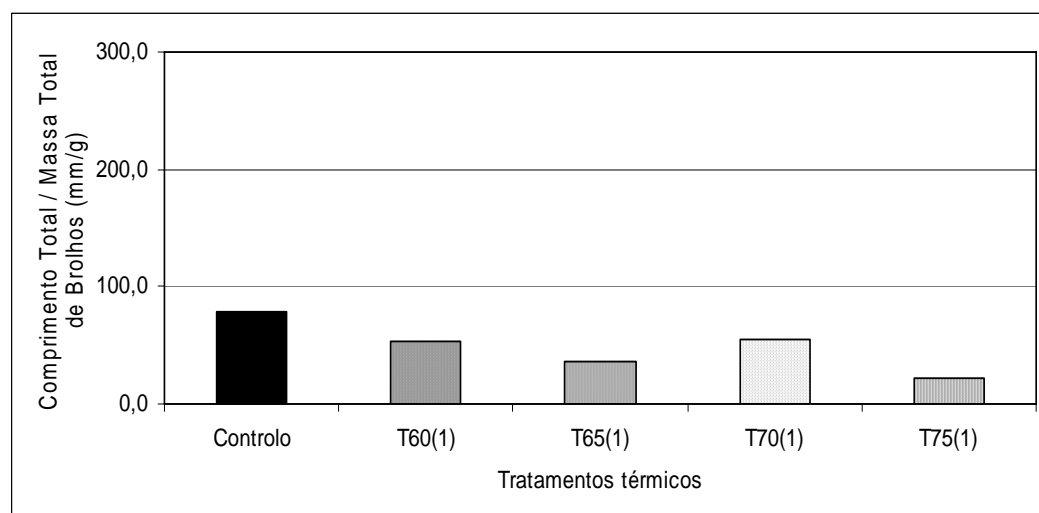


Figura 3.2.11 - Relação entre comprimento total e a massa total de brotos

Não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos e o controlo (ANOVA, $p < 0,05$) para os valores médios do comprimento e massa dos brotos e para a relação comprimento/massa, o que se explica pelas razões já indicadas, embora estes parâmetros apresentem valores substancialmente diferentes no final do estudo.

Pode-se ainda concluir que o tempo de tratamento tem uma influência determinante sobre a inibição, uma vez que não se desenvolvem brotos nas batatas tratadas durante 3 ou 5 min em qualquer uma das temperaturas utilizadas, enquanto para 1 min ocorre a formação de brotos para as 4 temperaturas estudadas. Estes resultados, poderão estar relacionados, com o facto de que para 1 min de tratamento, a superfície dos tubérculos não atingir a temperatura do tratamento. É

Discussão de Resultados

ainda pertinente referir que a ocorrência de tubérculos podres no caso dos tratamentos deverá estar relacionada com o facto de os tubérculos usados serem da colheita de Julho a Setembro de 2003 e as experiências terem decorrido quase um ano depois, com os tubérculos a manifestarem já sinais evidentes de um tão prolongado tempo de armazenamento, o que terá potenciado o efeito indutor de podridão dos tratamentos (Figura 3.2.12). Como já se disse no ponto anterior, todas as experiências cujos resultados são apresentados a partir do ponto seguinte, foram realizadas com batatas da colheita de 2004, não se tendo registado a ocorrência de podridão, o que suporta a possibilidade apresentada. O facto de a temperatura ambiente verificada nesta experiência ser relativamente elevada (média de 25,8°C) deverá também ter contribuído para a ocorrência de podridão. De qualquer modo, só começam a aparecer tubérculos com sinais de podridão ao fim de 22 dias de armazenamento (Figura 3.2.12).

Pode concluir-se pelos resultados obtidos neste ponto, que tratamentos térmicos entre 60°C e 75°C com duração de pelo menos 3 min, são potencialmente inibidores do abrolhamento.

Tabela 3.2.4 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de abrolhamento

		Controlo	T60(1)	T65(1)	T70(1)	T75(1)
% de batatas abrolhadas		100	66,7	66,7	100	16,7
Nº de brotos por batata abrolhada		2,7	2,3	2,0	2,3	1
Massa de brotos (g)	Total	4,25	1,97	3,2	4,17	0,46
	Média	0,71	0,66	1,07	0,7	
	(DP)	(0,50)	(0,37)	(0,43)	(0,80)	
Comprimento dos brotos (mm)	Total	190,3	108,0	94,6	169,6	10,0
	Média	31,7	36	31,5	28,3	
	(DP)	(18,3)	(23,6)	(5,3)	(23,2)	
Comprimento/massa de brotos (mm/g)	Média	79,0	54,0	36,5	55,3	21,7
	(DP)	(84,1)	(17,7)	(25,6)	(22,7)	

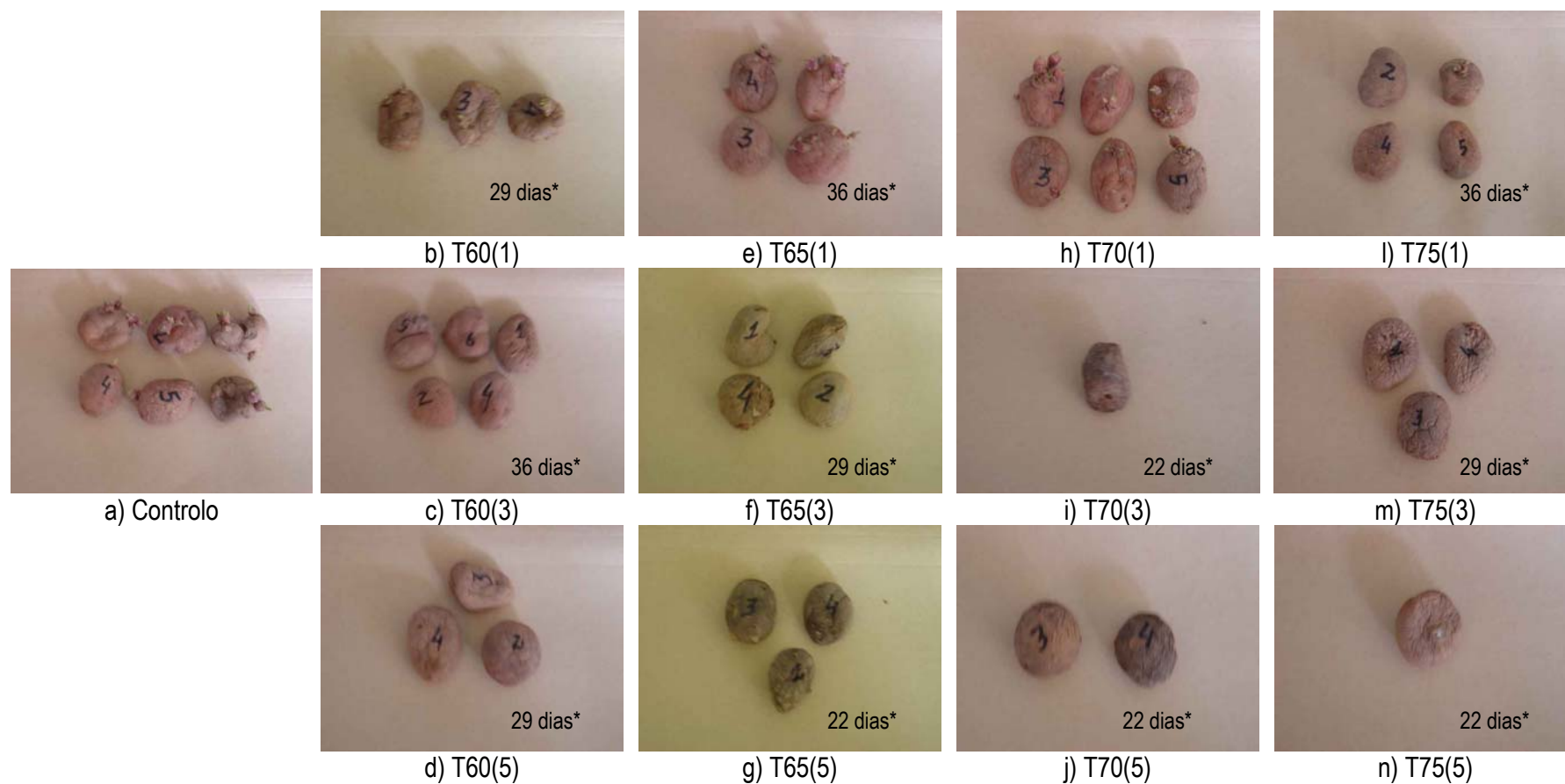


Figura 3.2.12 – Fotos dos tubérculos no final da experiência

*O número indica o dia em que apareceu o primeiro tubérculo com podridão

3.2.3 Efeito de tratamentos a 5°C, 1°C e - 5°C

Para verificar o efeito de tratamentos térmicos a baixas temperaturas, começou-se por estudar o efeito do tratamento à temperatura de -5°C . Como se poderiam verificar danos nos tubérculos a esta temperatura, estudou-se também o efeito de tratamentos a 5°C e 1°C , para verificar qual a menor temperatura que poderia afectar o abrolhamento, sem causar danos nos tubérculos.

O abrolhamento dos tubérculos de batata sujeitos a estes tratamentos térmicos, assim como os do controlo, foi promovido à temperatura e humidade relativa ambientes, com luz natural mas ao abrigo do contacto directo dos raios solares. Durante esta experiência registou-se uma temperatura média de $12,0^{\circ}\text{C}$ com o máximo de $16,8^{\circ}\text{C}$ e mínimo de $8,1^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa média de 74,6%, com o máximo de 93,1% e mínimo de 58,6%, como se pode verificar pela Figura 3.2.13. É de referir que os resultados apresentados a partir deste ponto, se referem a tubérculos da colheita de Julho-Setembro de 2004.

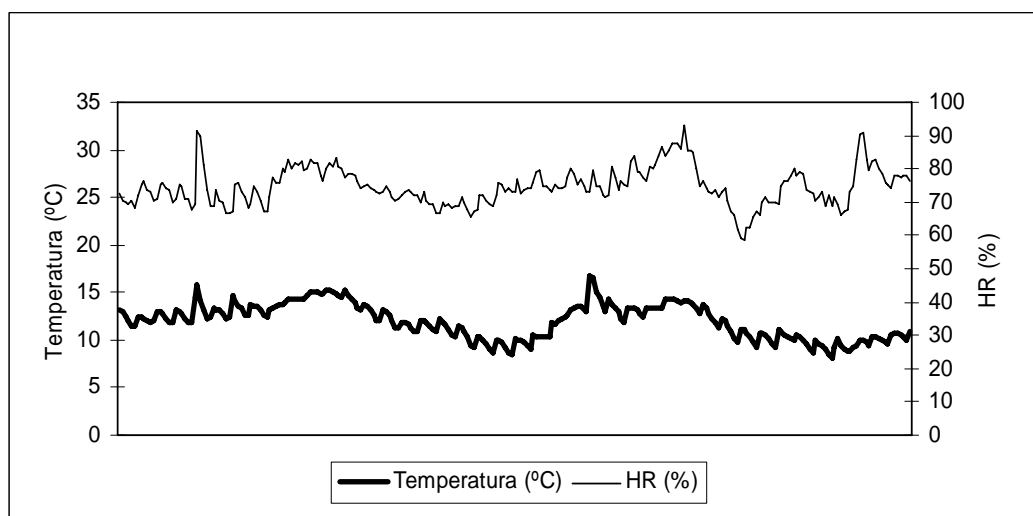


Figura 3.2.13 – Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento

As figuras que se seguem mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, ao nível da percentagem de batatas abrolhadas (Figura 3.2.14), do número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.2.15), do comprimento total dos brotos (Figura 3.2.16), no controlo e nas amostras sujeitas aos diferentes tratamentos térmicos. No final do armazenamento foi quantificada a massa total de brotos (Figura 3.2.17) e avaliada a relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa (Figura 3.2.18). O resumo destes dados é feito na Tabela 3.2.6.

Da análise das Figuras 3.2.14 e 3.2.15 pode-se observar que os tratamentos aplicados não causam alterações relevantes no abrolhamento, relativamente à amostra controlo. A Figura 3.2.14 mostra que a percentagem de batatas abrolhadas é semelhante entre todos os casos, verificando-se um menor número de brotos por batata abrolhada nos tratamentos a 1 e – 5°C (Figura 3.2.15 e Tabela 3.2.6).

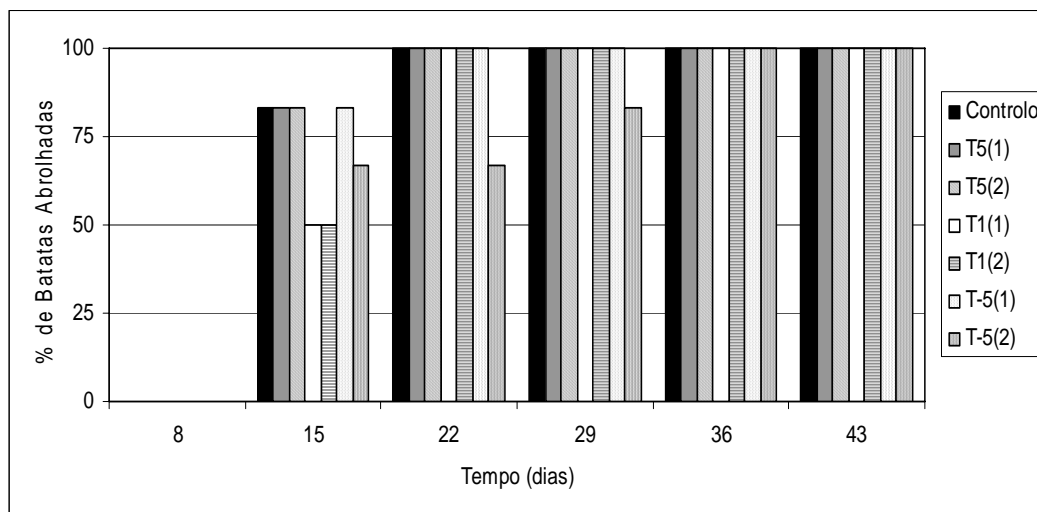


Figura 3.2.14 - Percentagem de batatas abrolhadas

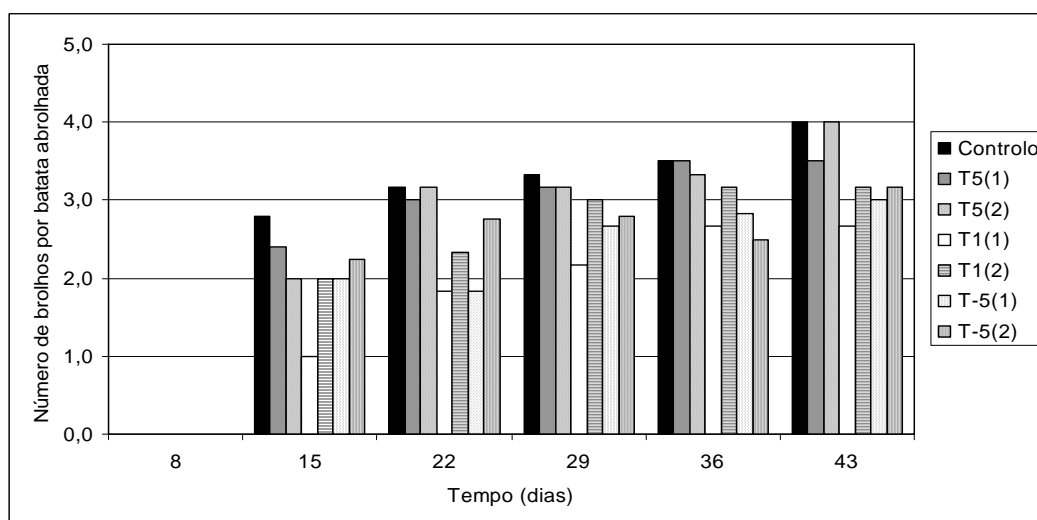


Figura 3.2.15 - Número de brotos por batata abrolhada

A cinética de crescimento dos brotos (Tabela 3.2.5) é de ordem zero e semelhante em todos os tratamentos, com excepção dos tratamentos T1(2) e T-5(2), nos quais se verifica uma constante cinética superior ao controlo ($p < 0,05$).

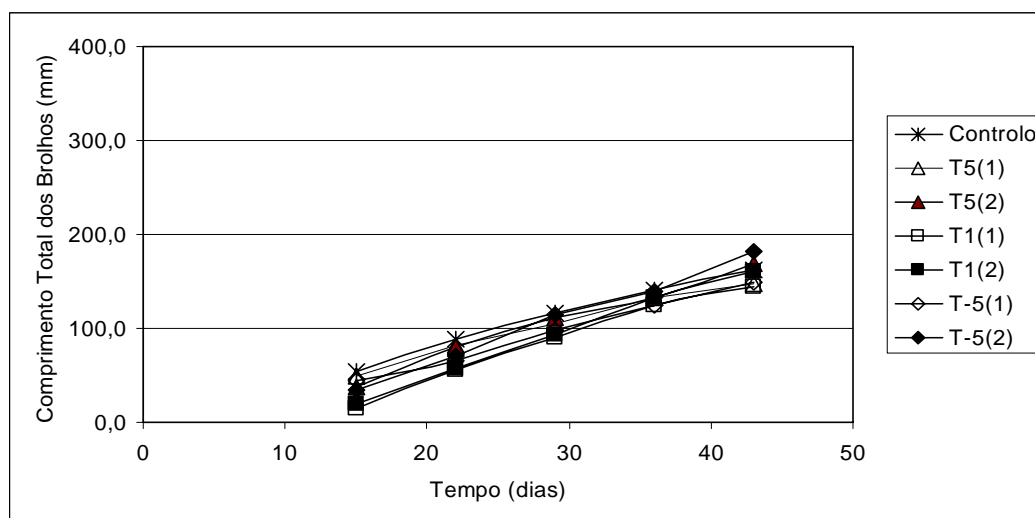


Figura 3.2.16 - Comprimento total dos brotos

Tabela 3.2.5 - Cinética de crescimento dos brotos

Tratamentos	$k(\text{mm/dia})^*$	R^2	n
Controlo	3,86 (0,20) ^a	0,99	5
T5(1)	3,52 (0,24) ^a	0,99	5
T5(2)	4,46 (0,30) ^a	0,99	5
T1(1)	4,72 (0,33) ^a	0,99	5
T1(2)	5,08 (0,16) ^b	1,00	5
T-5(1)	3,84 (0,15) ^a	1,00	5
T-5(2)	5,20 (0,22) ^b	0,99	5

Entre parêntesis apresenta-se o erro padrão

n - número de observações utilizadas para determinação de k

* Letras diferentes indicam valores diferentes do controlo (teste *t* de *student*, $p < 0,05$)

Quanto à massa total de brotos (Figura 3.2.17), não se verificam efeitos inibidores relevantes dos tratamentos, sendo que o maior valor foi verificado para o tratamento T-5(2).

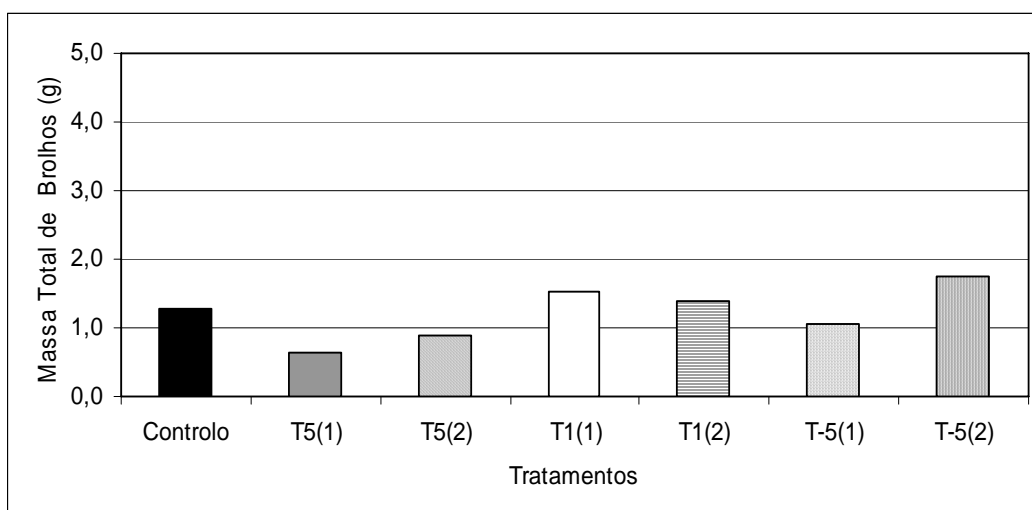


Figura 3.2.17 - Massa total de brolhos

A relação entre o comprimento e a massa total de brolhos (Figura 3.2.18) é semelhante para o controlo e para os tratamentos T1(1), T1(2) e T-5(1), sendo superior nos restantes casos.

Não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos a baixas temperatura (ANOVA, $p < 0,05$) para os valores médios do comprimento, massa e do rácio entre estes dois parâmetros.

A conclusão principal que se retira destes resultados, é que os tratamentos a 5°C, 1°C e – 5°C não causam inibição do abrolhamento nem lesões nos tubérculos (Figura 3.2.19). Assim, decidiu-se estudar o efeito de tratamentos às temperaturas de – 10°C, – 15°C e – 20°C, durante 1,3 e 5 min, cujos resultados se apresentam no ponto seguinte.

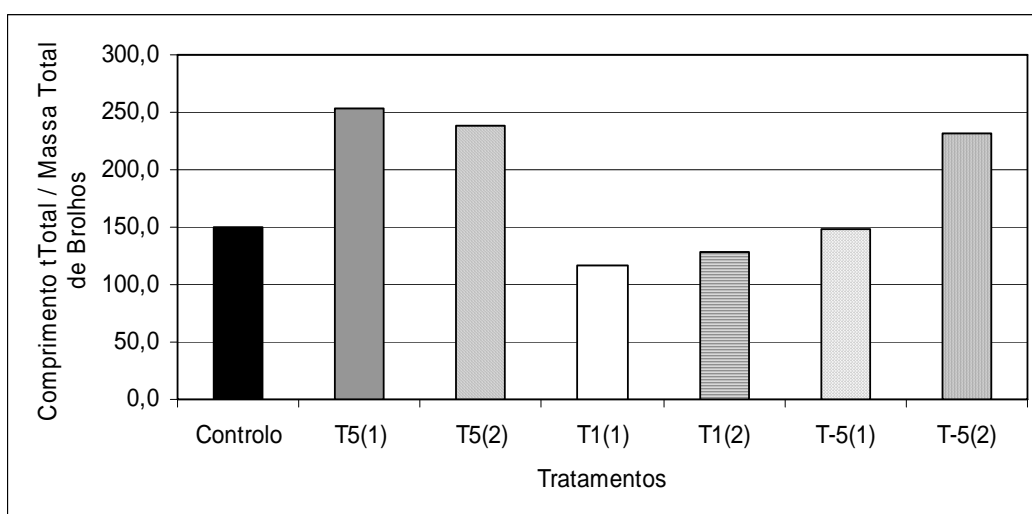


Figura 3.2.18 - Relação entre o comprimento total e a massa total de brolhos



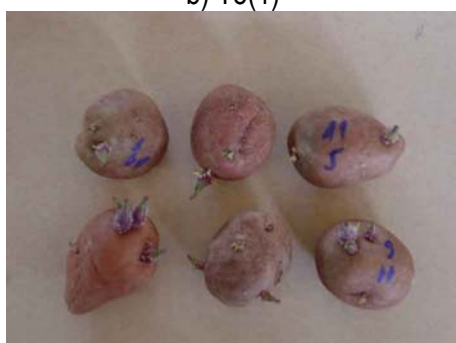
a) Controlo



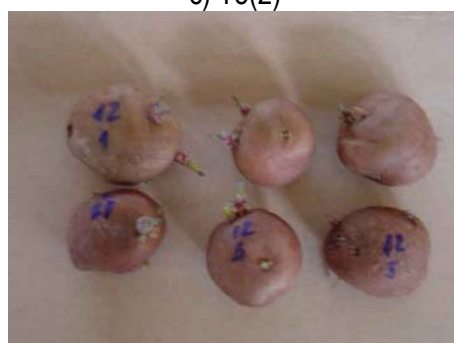
b) T5(1)



c) T5(2)



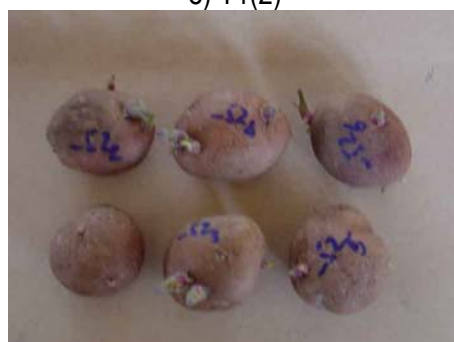
d) T1(1)



e) T1(2)



f) T-5(1)



g) T-5(2)

Figura 3.2.19 – Fotos dos tubérculos no final da experiência

Tabela 3.2.6 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento

		Controlo	T5(1)	T5(2)	T1(1)	T1(2)	T-5(1)	T-5(2)
% de batatas abrolhadas		100	100	100	100	100	100	100
Nº de brotos por batata abrolhada		4,0	3,5	4,0	2,7	3,2	3,0	3,2
Comprimento dos brotos (mm)	Total	162,7	147,1	168,1	144,2	160,2	148,8	182,1
	Média	27,1	24,5	28,0	24,0	26,7	24,8	30,4
	(DP)	(8,9)	(4,2)	(6,2)	(8,0)	(6,5)	(7,5)	(16,4)
Massa de brotos (g)	Total	1,28	0,64	0,88	1,53	1,39	1,05	1,76
	Média	0,21	0,11	0,15	0,26	0,23	0,18	0,29
	(DP)	(0,11)	(0,04)	(0,05)	(0,18)	(0,10)	(0,06)	(0,22)
Comprimento/massa de brotos (mm/g)	Média	149,8	253,6	237,8	117,5	128,1	149,0	231,3
	(DP)	(58,2)	(93,1)	(133,9)	(55,3)	(45,6)	(46,7)	(281,8)

3.2.4 Efeito de tratamentos a -10°C , -15°C e -20°C

O armazenamento dos tubérculos de batata sujeitos a estes tratamentos térmicos, assim como os do controlo, foi promovido à temperatura e humidade relativa ambientes, com luz natural, mas ao abrigo do contacto directo dos raios solares. Durante esta experiência registou-se uma temperatura média de $10,6^{\circ}\text{C}$ com o máximo de $14,4^{\circ}\text{C}$ e mínimo de $6,5^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa média de $66,3\%$, com o máximo de $90,4\%$ e mínimo de $36,5\%$, como se pode observar na Figura 3.2.20.

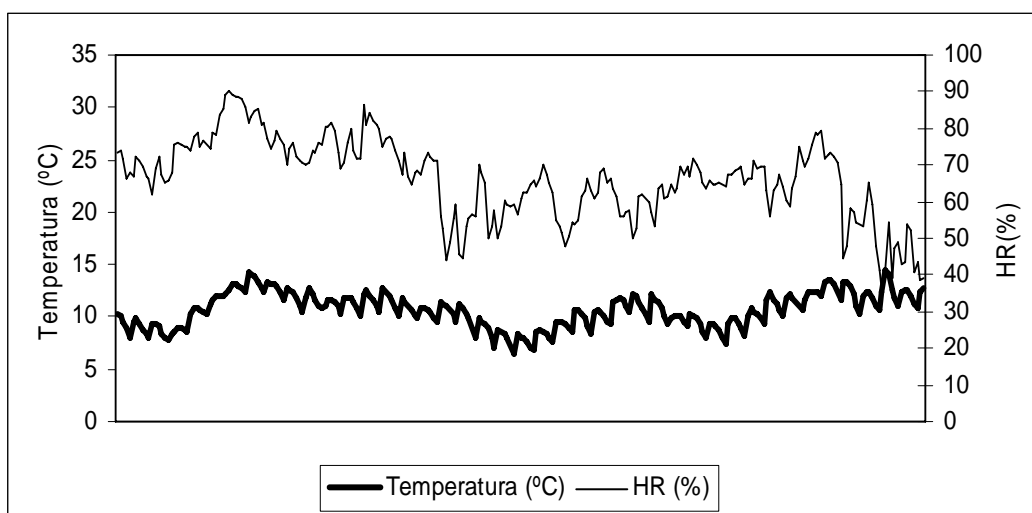


Figura 3.2.20 – Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento

As figuras que se seguem mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, ao nível da percentagem de batatas abrolhadas (Figura 3.2.21), do número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.2.22), do comprimento total dos brotos (Figura 3.2.23), no controlo e nas amostras sujeitas aos diferentes tratamentos de pressão. No final do armazenamento foi quantificada a massa total de brotos (Figura 3.2.24) e avaliada a relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa (Figura 3.2.25). O resumo destes dados é feito na Tabela 3.2.8.

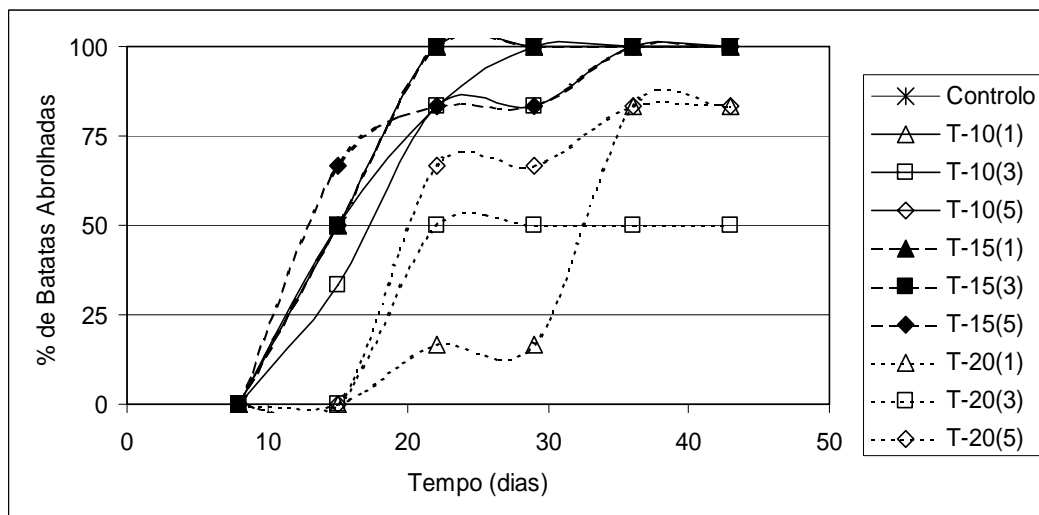


Figura 3.2.21 - Percentagem de batatas abrolhadas

Como se pode constatar pela Figura 3.2.21, os tratamentos a -20°C têm um efeito inibidor no abrolhamento, quantificado pela percentagem de batatas abrolhadas. Quanto ao número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.2.22), verifica-se que apenas os tratamentos a -20°C , durante 1 e 3 min, apresentam, valores menores que o controlo, particularmente para 3 min. Resultados muito semelhantes verificaram-se para o comprimento total de brotos (Figura 3.2.23).

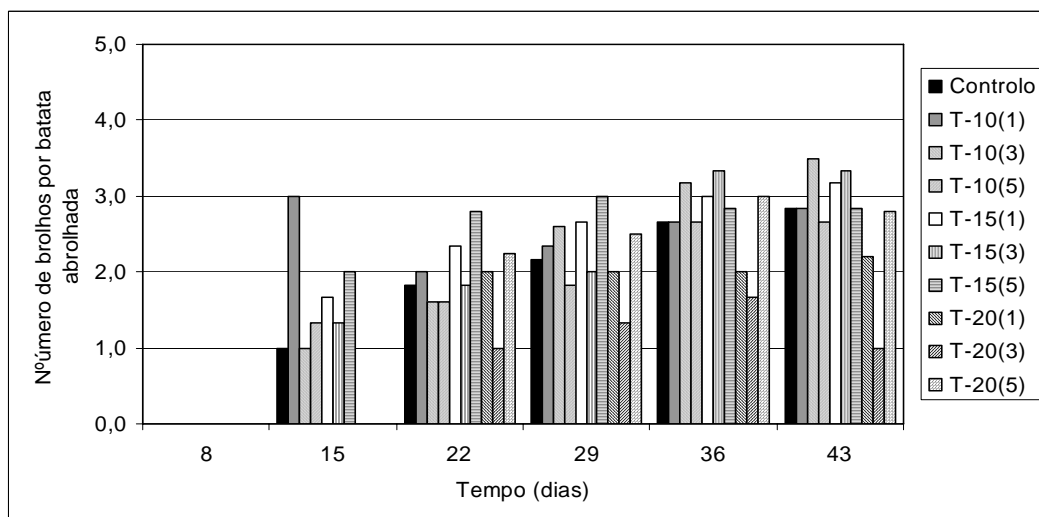


Figura 3.2.22 - Número de brotos por batata abrolhada

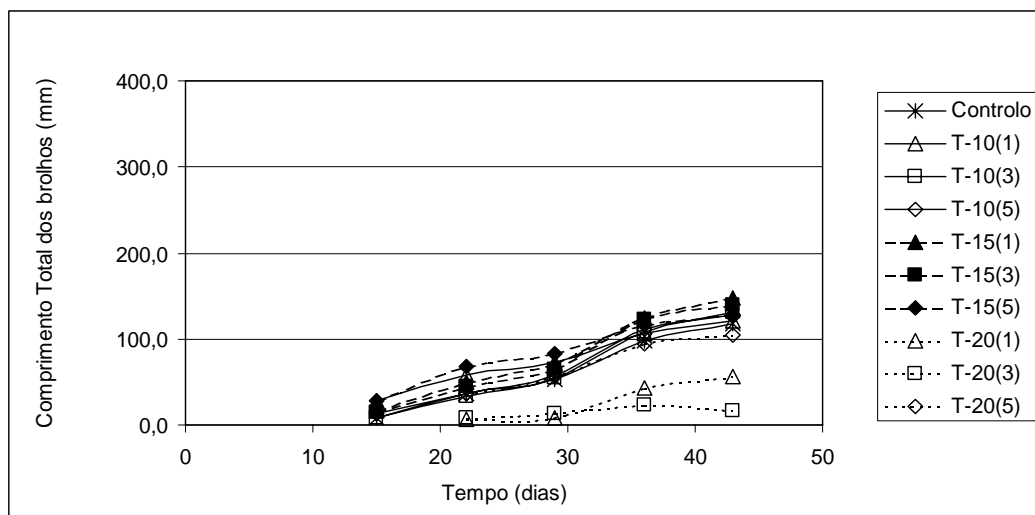


Figura 3.2.23 - Comprimento total dos brotos

A cinética de crescimentos dos brotos (Tabela 3.2.7) é semelhante nos diversos tratamentos se excluídos os tratamentos a -20°C durante 1 minuto e 3 min, que apresentam constantes cinéticas menores, embora sem significado estatístico. Para os restantes tratamentos, a constante cinética apresenta um valor semelhante ou mesmo superior ao controle (3,99 mm/dia), embora sem significado estatístico.

Tabela 3.2.7 - Cinética de crescimento dos brotos

Tratamentos	k (mm/dia)	R^2	n
Controlo	3,99 (0,32)	0,98	5
T-10(1)	3,33 (0,23)	0,99	5
T-10(3)	4,56 (0,41)	0,98	5
T-10(5)	4,34 (0,44)	0,97	5
T-15(1)	4,83 (0,36)	0,98	5
T-15(3)	4,66 (0,50)	0,97	5
T-15(5)	3,53 (0,38)	0,97	5
T-20(1)	2,70 (0,61)	0,91	4
T-20(3)	1,00 (0,25)	0,94	3
T-20(5)	3,45 (0,52)	0,96	4

Entre parêntesis apresenta-se o erro padrão

n - número de observações utilizadas para determinação de k

Em consonância com os resultados da percentagem de batatas abrolhadas e comprimento dos brotos, a massa de brotos é um pouco maior em todos os tubérculos sujeitos a tratamento que na amostra de controlo, com excepção dos tratamentos a – 20°C durante 1 e 3 minutos como se pode observar na Figura 3.2.24.

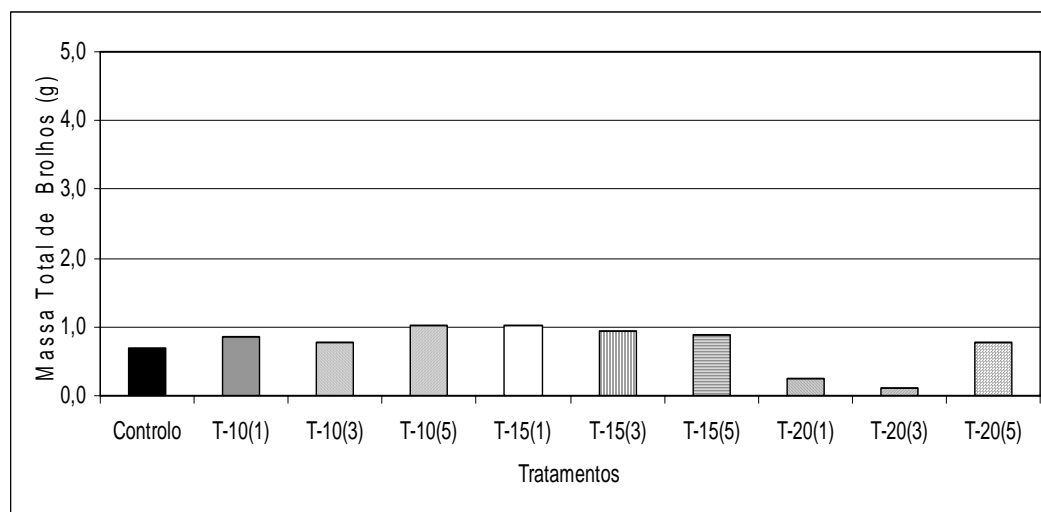


Figura 3.2.24 - Massa total de brotos

A relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa é maior no controlo que em qualquer outro tratamento (Figura 3.2.25) com excepção tratamentos T-20(1) e T-20(3), onde se verifica o contrário.

Não foram registadas diferenças estatísticas entre os diversos tratamentos e o controlo (ANOVA, $p < 0,05$) para os valores médios da massa e comprimento dos brotos e do rácio destes parâmetros.

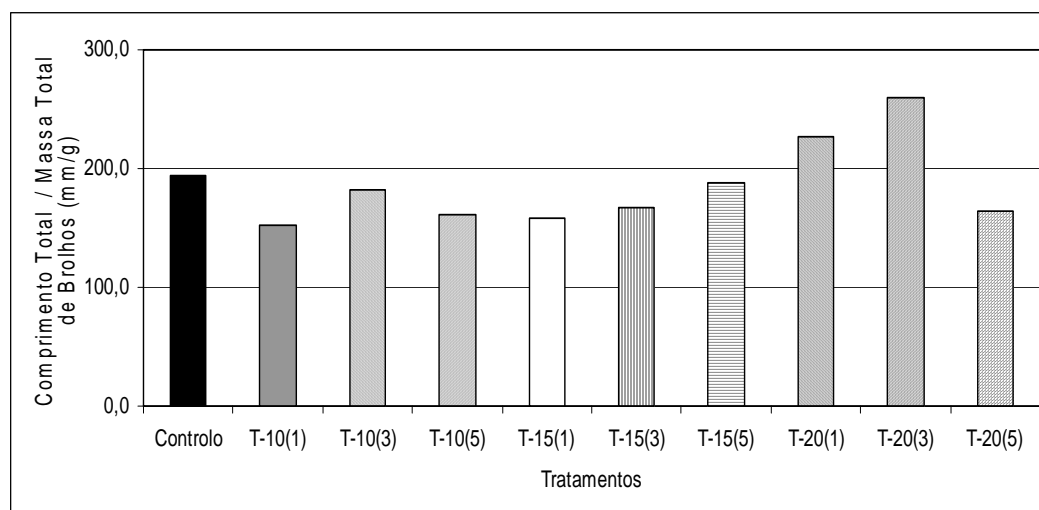


Figura 3.2.25 - Relação entre o comprimento total e a massa total de brochos

Pode-se assim concluir que dos tratamentos estudados, apenas os tratamentos a -20°C durante 1 e 3 min causam alguma inibição no abrolhamento, embora de efeito prático pouco relevante. Os resultados obtidos com o tratamento a -20°C durante 5 min são, aparentemente contraditórios, pois de acordo com os resultados obtidos a esta temperatura durante 1 e 3 min, era de esperar uma inibição do abrolhamento. Contudo, a explicação pode estar relacionada com o facto de a -15°C (3 e 5 min) e a -20°C (1, 3 e 5 min) ocorrerem danos pelo frio, embora não se verifique o aparecimento de tubérculos podres (Figura 3.2.26).

Como os tratamentos que se mostraram efectivos em inibir o abrolhamento foram os tratamentos de AP e térmicos (temperaturas de $60-75^{\circ}\text{C}$), decidiu-se estudar o efeito de tratamentos combinados, sequenciais de AP e temperatura, para verificar se os tratamentos combinados eram mais eficientes na inibição do abrolhamento. Para isso, submeteram-se tubérculos, primeiro a tratamentos de AP (150 e 300 atm, durante 10 min) e depois a um tratamento térmico (60°C , durante 1 min). Para verificar se a sequência de aplicação dos tratamentos tinha algum efeito, estudou-se o efeito dos mesmos tratamentos combinados, mas submetendo os tubérculos, primeiro ao tratamento térmico, seguido dos tratamentos de AP. A razão para a escolha de tratamentos de AP a 150 atm (não estudado antes) e 300 atm e 60°C , 1 min (em que se verificou uma inibição pouco relevante do abrolhamento), prende-se com o objectivo de aplicação dos tratamentos combinados, que era verificar se os tratamentos combinados eram mais eficientes. Assim, decidiu-se combinar tratamentos que quando aplicados isolados, causavam uma inibição moderada do abrolhamento.

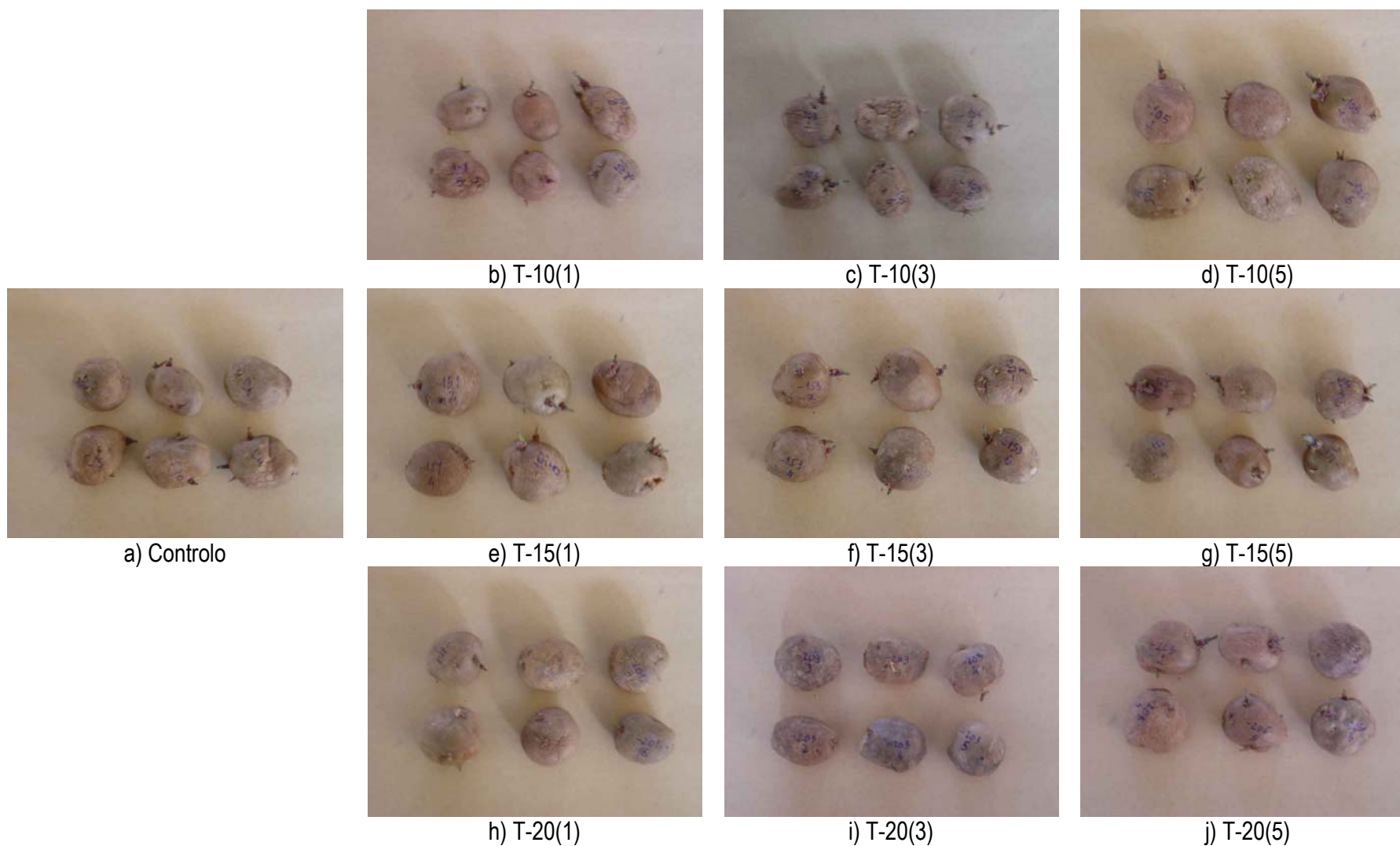


Figura 3.2.26 – Fotos dos tubérculos no final da experiência

Discussão de Resultados

Tabela 3.2.8 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento

		Controlo	T-10(1)	T-10(3)	T-10(5)	T-15(1)	T-15(3)	T-15(5)	T-20(1)	T-20(3)	T-20(5)
% de batatas abrolhadas		100	100	100	100	100	100	100	83,3	50	83,3
Nº de brotos por batata abrolhada		2,8	2,8	3,5	2,7	3,2	3,3	2,8	2,2	1,0	2,8
Comprimento de brotos (mm)	Total	117,1	121	130,4	128,2	148,1	139,1	127,6	57,2	17	105
	Média	19,5	20,2	21,7	21,4	24,7	23,2	21,3	11,4	8,5	21,0
	(DP)	(9,0)	(7,4)	(9,5)	(11,7)	(8,8)	(6,5)	(11,3)	(8,5)	(6,4)	(11,3)
Massa de brotos (g)	Total	0,68	0,86	0,77	1,01	1,02	0,94	0,88	0,25	0,12	0,77
	Média	0,11	0,14	0,13	0,17	0,17	0,16	0,15	0,05	0,06	0,15
	(DP)	(0,06)	(0,08)	(0,07)	(0,12)	(0,07)	(0,08)	(0,09)	(0,03)	(0,07)	(0,08)
Comprimento/massa de brotos (mm/g)	Média	194,3	151,7	181,6	161,1	158,8	166,8	187,9	226,9	259,1	164,7
	(DP)	(67,0)	(29,0)	(54,5)	(102,2)	(62,1)	(67,2)	(107,3)	(94,1)	(199,3)	(83,6)

3.3 Tratamentos Combinados de Pressão e Temperatura

A Tabela 3.3.1 apresenta os vários tratamentos combinados estudados.

Tabela 3.3.1 - Identificação dos tratamentos de AP e temperatura, combinados sequencialmente

Tratamento aplicado	Identificação do tratamento
Pressão seguida de Temperatura	
150 atmosferas durante 10 minutos seguido de 60°C com duração de 1 minuto	P150(10)/T60(1)
150 atmosferas durante 10 minutos seguido de 65°C com duração de 1 minuto	P150(10)/T65(1)
300 atmosferas durante 10 minutos seguido de 60°C com duração de 1 minuto	P300(10)/T60(1)
300 atmosferas durante 10 minutos seguido de 65°C com duração de 1 minuto	P300(10)/T65(1)
Temperatura seguida de Pressão	
60°C durante 1 minuto seguido de 150 atmosferas com duração de 10 minutos	T60(1)/ P150(10)
65°C durante 1 minuto seguido de 150 atmosferas com duração de 10 minutos	T65(1)/ P150(10)
60°C durante 1 minuto seguido de 300 atmosferas com duração de 10 minutos	T60(1)/ P300(10)
65°C durante 1 minuto seguido de 300 atmosferas com duração de 10 minutos	T65(1)/ P300(10)

3.3.1 Tratamentos combinados de pressão seguida de temperatura

Para se poder comparar o efeito dos tratamentos combinados, em relação aos tratamentos individuais, para além do controlo, foram colocados a abrolhar tubérculos submetidos aos tratamentos não combinados de P300(10) e T60(1). Para o caso dos tratamentos combinados envolvendo o tratamento P150(10), tal não foi feito, pois de acordo com os resultados apresentados no início deste capítulo para P300(5, 5+5 e 10), esperar-se-ia que ocorresse abrolhamento relativamente significativo, pelo que se optou, neste caso, por comparar os resultados dos tratamentos combinados com o respectivo de temperatura, para avaliar o possível efeito acrescido de inibição dos tratamentos combinados.

O armazenamento dos tubérculos sujeitos a estes tratamentos, assim como os do controlo, foi promovido em condições de temperatura e humidade relativa ambientes, com luz natural mas ao abrigo do contacto directo dos raios solares. Durante esta experiência registou-se uma temperatura média de 12,6°C com o máximo de 17,2°C e mínimo de 8,5°C e humidade relativa média de 73,3% com o máximo de 93,1% e mínimo de 51,9%, como se pode verificar na Figura 3.3.1.

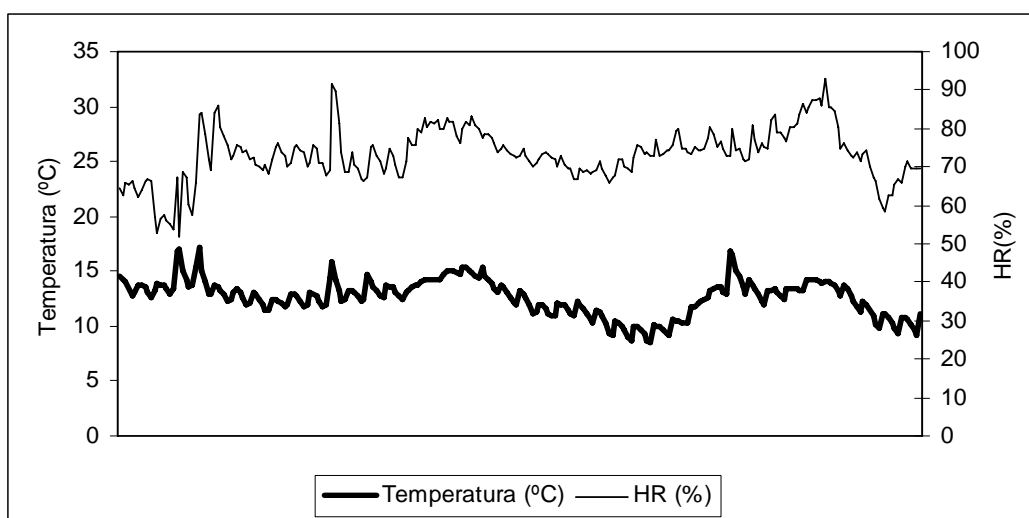


Figura 3.3.1 - Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento

De seguida, apresentam-se as figuras que mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, ao nível da percentagem de batatas abrolhadas (Figura 3.3.2), número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.3.3) e comprimento total brotos (Figura 3.3.4), no controlo e nas amostras sujeitas a tratamento. No final do armazenamento foi quantificada a massa total de

brolhos (Figura 3.3.5) e avaliada a relação entre o comprimento total dos brolhos e a sua massa (Figura 3.3.6). O resumo destes dados é feito na Tabela 3.3.3.

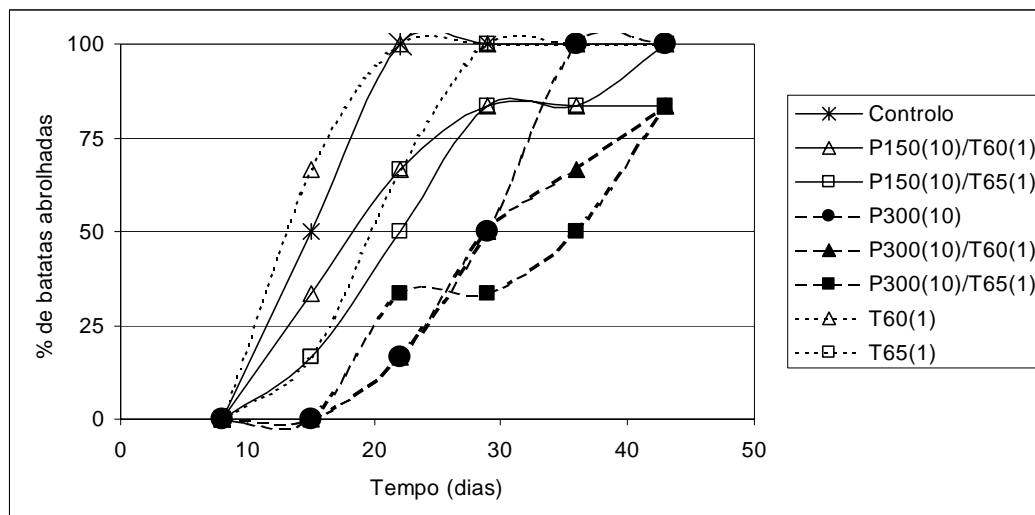


Figura 3.3.2 - Percentagem de batatas abrolhadas

Da análise das Figuras 3.3.2 e 3.3.3 verifica-se que os tratamentos combinados P300(10)/T60(1) e P300(10)/T65(1) apresentam, geralmente, ao longo do tempo e no final, menor percentagem de batatas abrolhadas e menor número de brolhos por batata, que o controlo e os respectivos tratamentos *per si* (aplicados individualmente), particularmente para o tratamento P300(10)/T65(1). Os tratamentos P150(10)/T60(1) e P150(10)/T65(1) apresentam valores menores para estes dois parâmetros que os tratamentos térmicos T60(1) e T65(1), mas maiores que as combinações P300(10)/T60(1) e P300(10)/T65(1), notando-se que o tratamento P150(10)/T65(1) tem um efeito inibidor ligeiramente superior ao tratamento P150(10)/T60(1). Deste modo, os tratamentos P300(10)/T65(1) e P300(10)/T60(1) são os que causam uma inibição mais pronunciada do abrolhamento.

Quanto ao comprimento total dos brolhos, todos os tratamentos combinados apresentam um valor menor para este parâmetro, no fim do estudo, revelando um efeito inibidor do desenvolvimento dos brolhos (Figura 3.3.4).

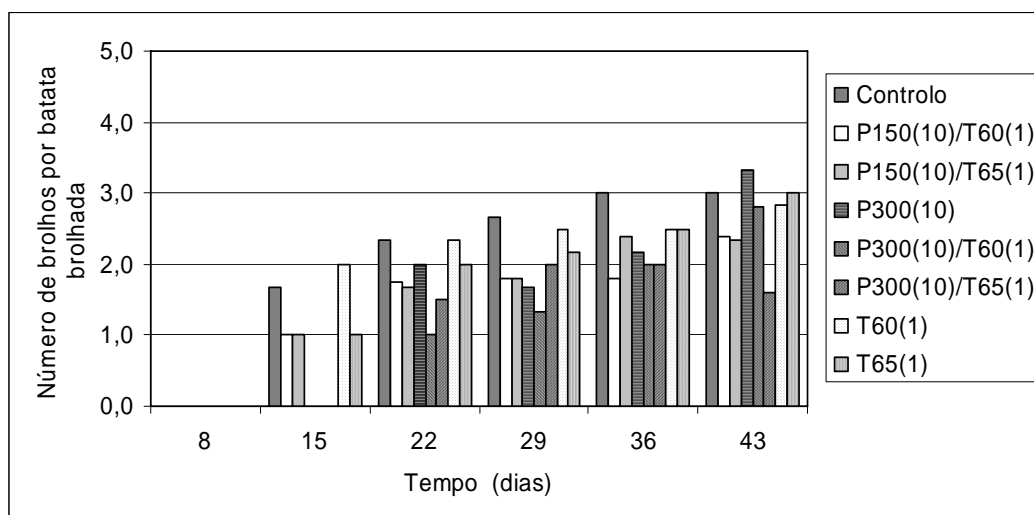


Figura 3.3.3 - Número de brotos por batata abrolhada

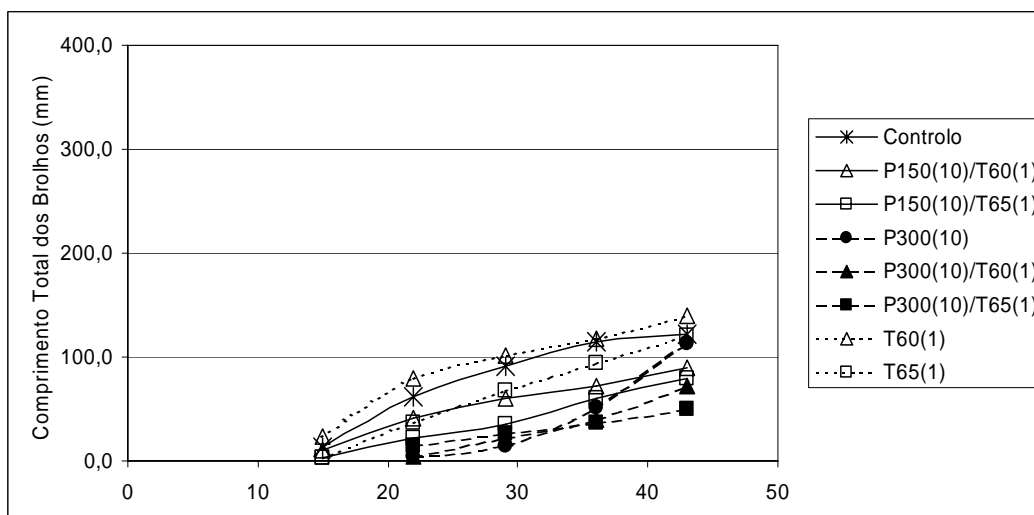


Figura 3.3.4 - Comprimento total dos brotos

A Figura 3.3.4 permite também verificar a ocorrência de uma cinética de ordem zero associada ao crescimento dos brotos, em que os tratamentos combinados de pressão e temperatura apresentam constantes cinéticas menores que os respectivos tratamentos isolados e controlo (a Tabela 3.3.2 apresenta os valores obtidos para as constantes cinéticas). Entre os tratamentos combinados, são os de 300 atmosferas que apresentam as menores constantes cinéticas, correspondendo à combinação com a temperatura mais elevada (65°C) a constante mais baixa. Aliás, só os tratamentos simples P300(10) e T60(1) apresentam constantes cinéticas que não são estatisticamente diferentes das do controlo ($p > 0,05$).

Tabela 3.3.2 - Cinética de crescimento dos brotos

	k (mm/dia)*	R^2	n
Controlo	4,81 (0,59) ^a	0,97	4
P150(10)/T60(1)	2,70 (0,28) ^b	0,97	5
P150(10)/T65(1)	2,74 (0,15) ^b	0,99	5
P300(10)	3,35 (1,11) ^a	0,90	3
P300(10)/T60(1)	2,44 (0,004) ^b	1,00	3
P300(10)/T65(1)	1,67 (0,07) ^b	1,00	4
T60(1)	3,82 (0,62) ^a	0,93	5
T65(1)	4,16 (0,15) ^b	1,00	5

Entre parêntesis apresenta-se o erro padrão

n - número de observações utilizadas para determinação de k

*Letras diferentes indicam valores estatisticamente diferentes (teste t de *student*, $p < 0,05$)

No que respeita à massa total de brotos (Figura 3.3.5), esta é maior, no controlo e nos tratamentos simples de pressão e temperatura. O tratamento P150(10)/T60(1) apresenta um valor semelhante aos tratamentos T65(1) e P300(10). Os tratamentos combinados P150(10)/T65(1), P300(10)/T60(1) e o P300(10)/T65(1), envolvendo o tratamento de pressão e/ou de temperatura a valores mais elevados (300 atm e 65°C, respectivamente), são os tratamentos que apresentam menor massa total de brotos, indicando uma inibição do desenvolvimento dos brotos.

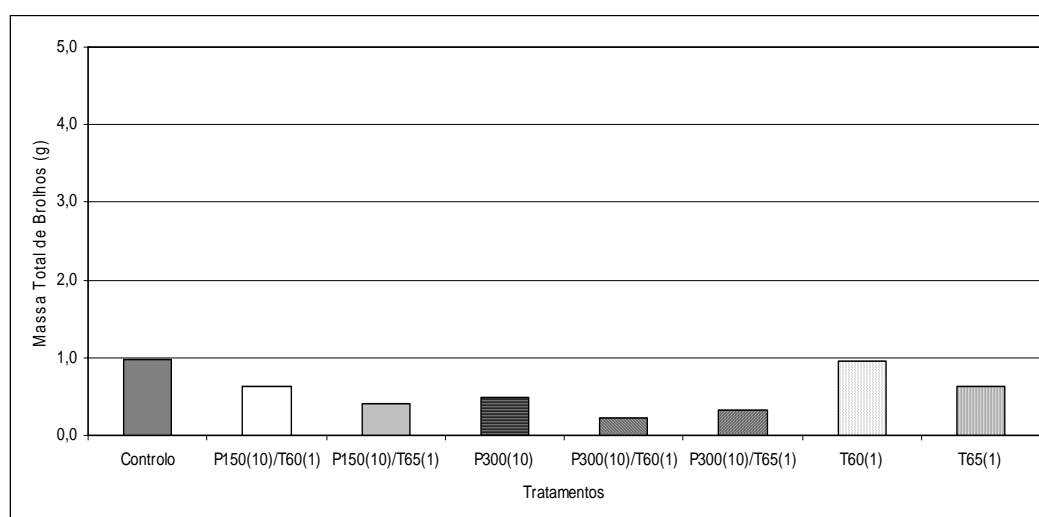


Figura 3.3.5 - Massa total de brotos

A razão comprimento/massa de brotos é maior para os tratamentos que evidenciam maior capacidade de inibir o abrolhamento, apresentando brotos relativamente mais longos e finos, sendo o controlo e o tratamento T60(1) os que apresentam esta razão mais baixa (Figura 3.3.6), evidenciando brotos relativamente mais curtos e grossos (Figura 3.3.7).

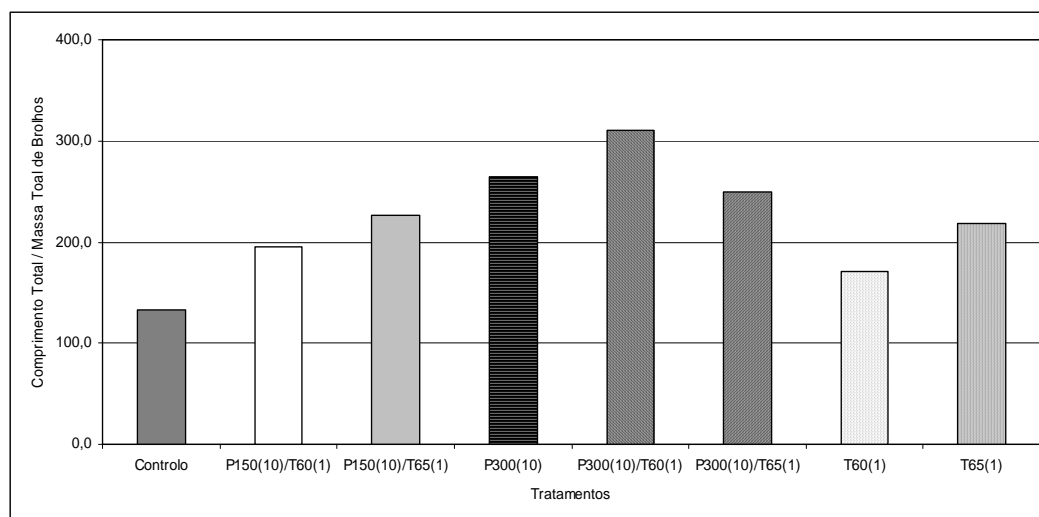


Figura 3.3.6 - Relação entre o comprimento brotos e a massa total de brotos

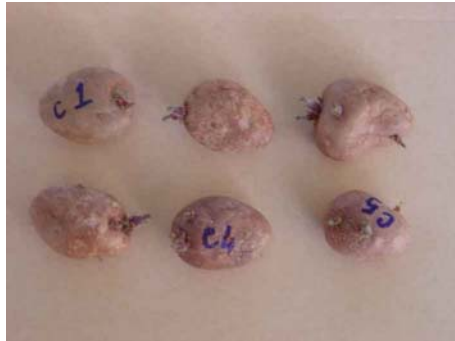
No entanto, apesar se observarem algumas diferenças entre os tratamentos, para os valores médios de massa, comprimento e razão comprimento/massa de brotos, estatisticamente (ANOVA), não se verificam diferenças ($p > 0,05$). Isto deve-se, como já se disse antes ao diferente estado de desenvolvimento dos brotos

Globalmente, pode-se concluir que o efeito combinado de pressão seguida de temperatura, inibe o abrolhamento mais eficientemente que os respectivos tratamentos isolados de pressão ou temperatura. Assim, em termos práticos poder-se-á combinar a aplicação de tratamentos de AP seguida de temperatura, usando valores de AP e temperatura menores, o que será vantajoso em termos de não causar danos nos tubérculos e em termos económicos, para controlar/inibir o abrolhamento.

É de salientar que não se verificou a ocorrência de tubérculos podres, o que apoia a hipótese que foi apresentada como explicação para a ocorrência de podridão nos tratamentos térmicos quando se usaram tubérculos da colheita de 2003.

Após a obtenção destes resultados, achou-se interessante, estudar o efeito de tratamentos combinados de temperatura e AP, mas aplicando primeiro temperatura seguida de AP, para verificar

se a ordem de aplicação dos tratamentos influenciava o grau de inibição de abrolhamento. Os resultados obtidos são apresentados no ponto seguinte.



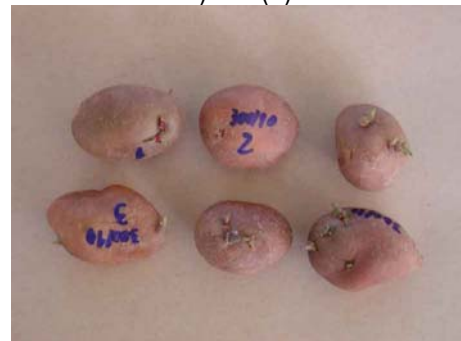
a) Controlo



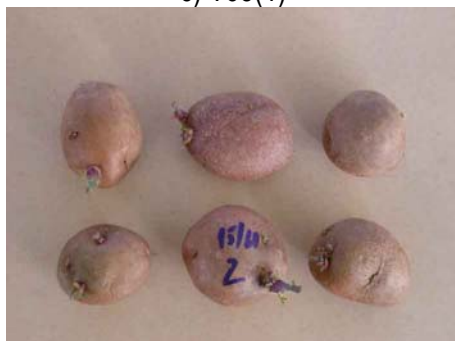
b) T60(1)



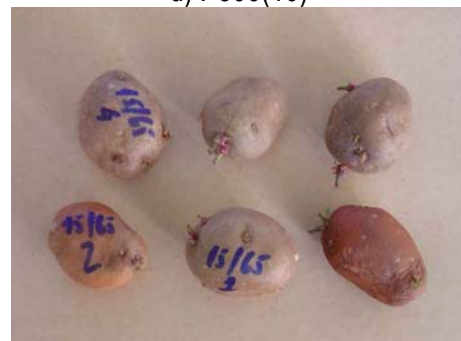
c) T65(1)



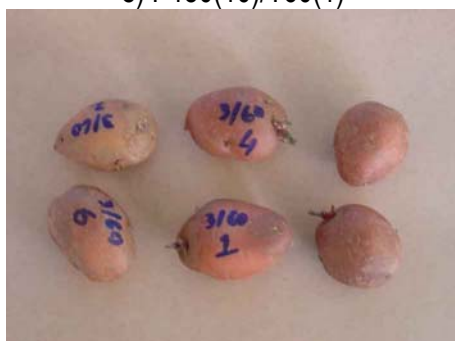
d) P300(10)



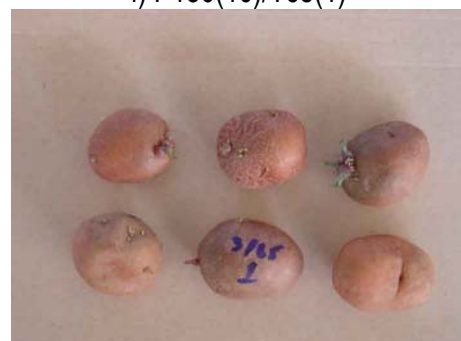
e) P150(10)/T60(1)



f) P150(10)/T65(1)



g) P300(10)/T60(1)



h) P300(10)/T65(1)

Figura 3.3.7 - Fotos dos tubérculos no final da experiência

Discussão de Resultados

Tabela 3.3.3 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento

		Controlo	P150(10)/T60(1)	P150(10)/T65(1)	P300(10)	P300(10)/T60(1)	P300(10)/T65(1)	T60(1)	T65(1)
% de batatas abrolhadas		100,0	83,3	100,0	100,0	83,3	83,3	100,0	100,0
Nº de brotos por batata abrolhada		3,0	2,4	2,3	3,3	2,8	1,6	2,8	2,2
Comprimento dos brotos (mm)	Total	121,5	89,2	79,9	113,4	71,9	49,9	139,0	120,3
	Média	20,3	17,8	13,3	18,9	14,4	10,0	23,2	20,1
	(DP)	(7,8)	(4,2)	(6,0)	(5,3)	(10,5)	(8,3)	(10,0)	(3,6)
Massa de brotos (g)	Total	0,98	0,62	0,40	0,48	0,23	0,34	0,96	0,64
	Média	0,16	0,12	0,07	0,08	0,05	0,07	0,16	0,11
	(DP)	(0,07)	(0,08)	(0,04)	(0,03)	(0,04)	(0,09)	(0,09)	(0,04)
Comprimento/massa de brotos (mm/g)	Média	133,5	195,5	226,0	264,3	310,8	250,1	170,4	219,0
	(DP)	(43,1)	(116,6)	(67,9)	(99,6)	(95,0)	(151,7)	(74,9)	(102,4)

3.3.2 Tratamentos combinados de temperatura seguida de pressão

O armazenamento dos tubérculos sujeitos aos tratamentos estudados neste ponto, assim como os do controlo, foi realizado em condições de temperatura e humidade relativa ambientes, com luz natural mas ao abrigo do contacto directo dos raios solares. Durante esta experiência registou-se uma temperatura média de 11,6°C com o máximo de 16,8°C e mínimo de 8,1°C e humidade relativa média de 74,7% com o máximo de 93,1% e mínimo de 58,6%, como se pode ver na Figura 3.3.8.

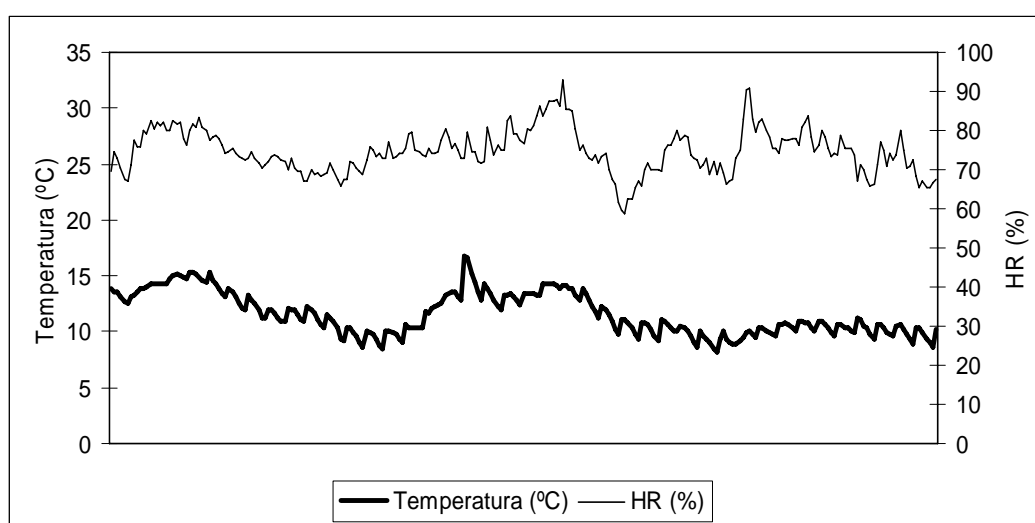


Figura 3.3.8 - Registo da temperatura e HR ambientes durante o armazenamento

As figuras seguintes mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, ao nível da percentagem de batatas abrolhadas (Figura 3.3.9.), número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.3.10) e comprimento total brotos (Figura 3.3.11), no controlo e nas amostras sujeitas a tratamento. No final do armazenamento foi quantificada a massa total de brotos (Figura 3.3.12) e avaliada a relação entre o comprimento/massa dos brotos (Figura 3.3.13). O resumo dos resultados obtidos no final do estudo é feito na Tabela 3.3.5.

Da análise das Figuras. 3.3.9 e 3.3.10 verifica-se que os tratamentos combinados causam uma clara inibição do abrolhamento. Os tubérculos sujeitos aos tratamentos começam a abrolhar cerca de 2 semanas mais tarde e apresentam no final uma percentagem menor de batatas abrolhadas, com excepção do tratamento T65(1)/P150(10) (Figura 3.3.9). O número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.3.10) é claramente menor nos tubérculos sujeitos aos tratamentos, ao

Discussão de Resultados

longo de todo o tempo do estudo. No entanto, não parecem existir diferenças evidentes destes parâmetros entre os tratamentos. Estes resultados confirmam uma clara inibição do abrolhamento.

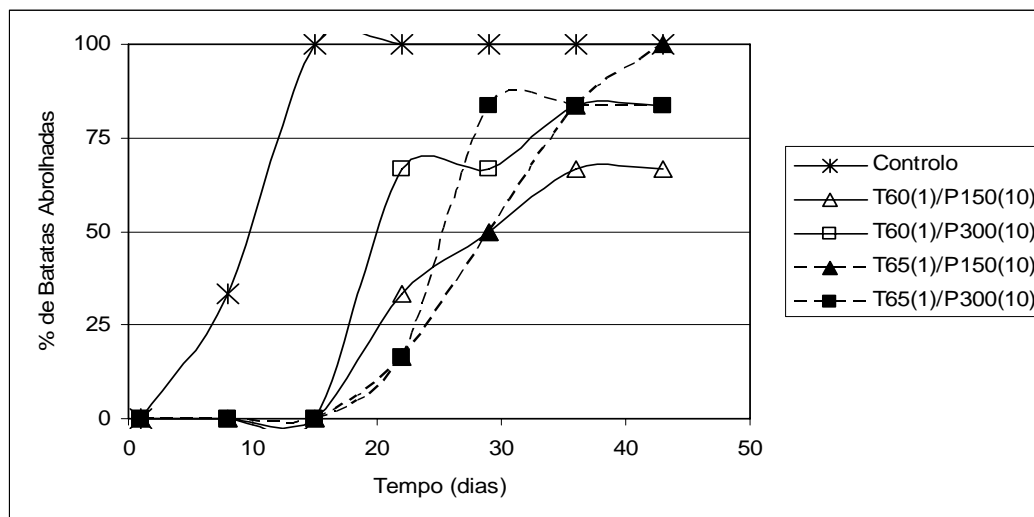


Figura 3.3.9 - Percentagem de batatas abrolhadas

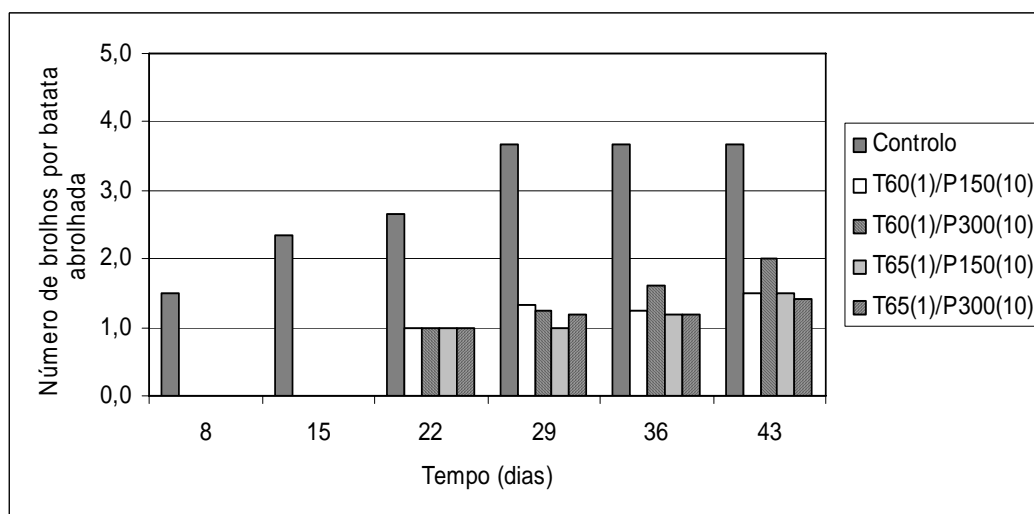


Figura 3.3.10 - Número de brotos por batata abrolhada

Pela Figura 3.3.11 verifica-se que o comprimento total dos brotos é substancialmente menor em todos os tratamentos combinados, indicando um claro efeito inibidor do desenvolvimento dos brotos.

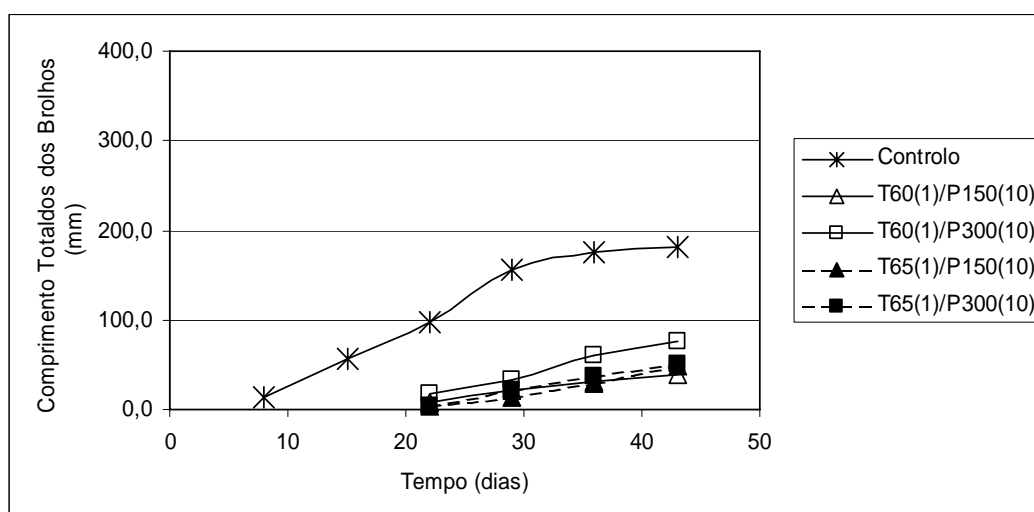


Figura 3.3.11 - Comprimento total dos brotos

A cinética de crescimento dos brotos é claramente mais lenta nos tubérculos sujeitos aos tratamentos, apresentando as constantes cinéticas valores menores entre 3 a 4 vezes, quando comparadas com a do controlo (Tabela 3.3.4). Estatisticamente, todos os tratamentos apresentam constantes cinéticas diferentes das do controlo ($p < 0,05$).

Tabela 3.3.4 - Cinética de crescimento dos brotos

	k (mm/dia)*	R^2	n
Controlo	6,74(0,38) ^a	0,99	4
T60(1)/P150(10)	1,51(0,09) ^b	0,99	4
T60(1)/P300(10)	2,88(0,20) ^b	0,99	4
T65(1)/P150(10)	2,21(0,21) ^b	0,98	4
T65(1)/P300(10)	2,30(0,12) ^b	0,99	4

Entre parêntesis apresenta-se o erro padrão

n - número de observações utilizadas para determinação de k

* Letras diferentes indicam valores estatisticamente diferentes (teste t de *student*, $p < 0,05$)

Quanto à massa total de brotos (Figura 3.3.12), esta é maior no controlo. O valor médio da massa de brotos por batata é significativamente menor nos tubérculos sujeitos aos tratamentos ($p < 0,05$), não havendo diferenças entre os tratamentos (Tabela 3.3.5). As mesmas conclusões se aplicam ao valor médio do comprimento dos brotos (Tabela 3.3.5). Estes resultados indicam um

claro e substancial efeito inibidor do desenvolvimento dos brolhos, causado pelos tratamentos aplicados.

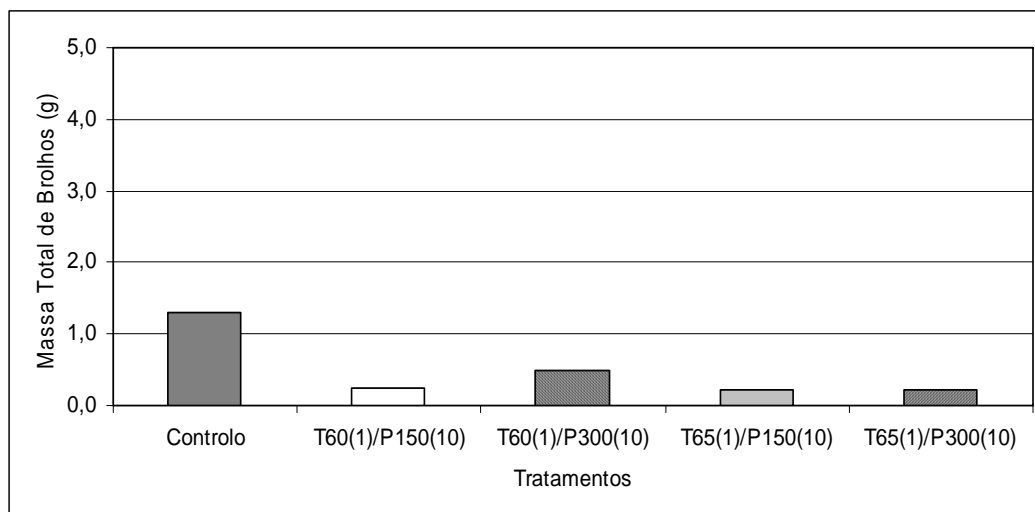


Figura 3.3.12 - Massa total de brotos

A razão comprimento/massa de brotos (Figura 3.3.13) é superior para os tubérculos sujeitos aos tratamentos, com exceção do tratamento T60(1)/P150(10), em que a temperatura e pressão dos tratamentos é menor, embora, estatisticamente não se encontrem diferenças ($p > 0,05$), pelas razões já antes indicadas. Assim, os tubérculos sujeitos aos tratamentos, apresentam brotos relativamente mais finos e mais longos (Figura 3.3.14).

É de salientar a não ocorrência de tubérculos com podridão.

Aplicando temperatura seguida de pressão, verifica-se inibição do abrolhamento. Os resultados obtidos neste ponto, comparados com os obtidos no ponto anterior, apontam para que a aplicação de tratamentos combinados, em que se submetem os tubérculos a temperatura seguida de pressão, sejam mais eficientes a inibir o abrolhamento, comparando com a aplicação de pressão seguida de temperatura. A comparação entre os tratamentos combinados de pressão seguida de temperatura e temperatura seguida de pressão é apresentada no ponto seguinte, para tentar confirmar esta possível diferença.

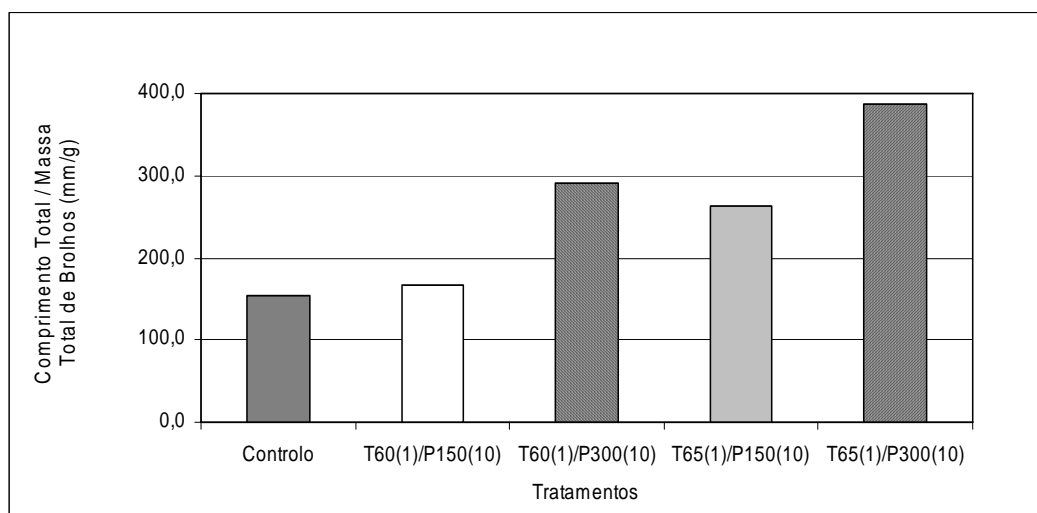


Figura 3.3.13 - Relação entre o comprimento e a massa total de brolhos



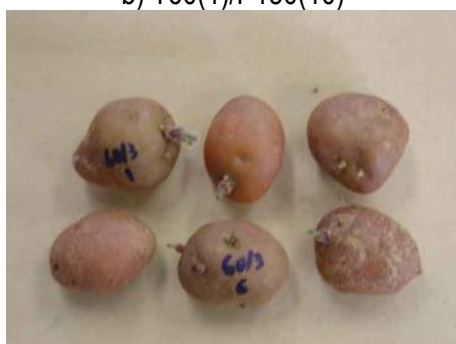
a) Controlo



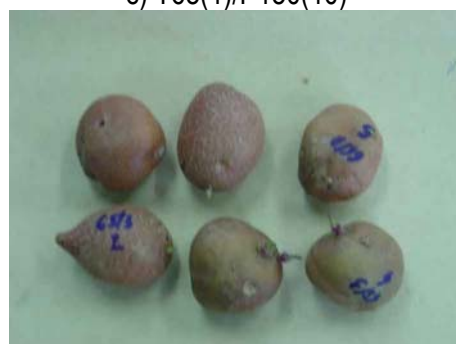
b) T60(1)/P150(10)



c) T65(1)/P150(10)



d) T60(1)/P300(10)



e) T65(1)/P300(10)

Figura 3.3.14 - Fotos dos tubérculos no final da experiência

Tabela 3.3.5 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento ao fim de 43 dias de armazenamento

		Controlo	T60(1)/P150(10)	T60(1)/P300(10)	T65(1)/P150(10)	T65(1)/P300(10)
% de batatas abrolhadas		100,0	66,7	83,3	100,0	83,3
Nº de brotos por batata abrolhada		3,7	1,5	2,0	1,5	1,4
Comprimento dos brotos (mm)	Total	182,2	40,0	76,5	49,0	51,0
	Média*	30,4 ^a	10,0 ^b	15,3 ^b	8,2 ^b	10,2 ^b
	(DP)	(9,8)	(5,7)	(9,8)	(4,7)	(6,4)
Massa de brotos (g)	Total	1,30	0,24	0,50	0,23	0,22
	Média	0,22 ^a	0,08 ^b	0,10 ^b	0,06 ^b	0,06 ^b
	(DP)	(0,11)	(0,04)	(0,09)	(0,05)	(0,05)
Comprimento/massa de brotos (mm/g)	Média	153,3 ^a	165,8 ^a	290,7 ^a	262,5 ^a	386,5 ^a
	(DP)	(38,8)	(34,6)	(296,0)	(179,7)	(246,9)

*Letras diferentes na mesma linha indicam um efeito estatisticamente significativo (teste SNK, $p < 0,05$)

3.3.3 Comparação entre os tratamentos combinados de pressão/temperatura e temperatura/pressão

A relação entre o número de tubérculos abrolhados em cada um dos tratamentos combinados e o número de tubérculos abrolhados no respectivo controlo é apresentada nas Figuras 3.3.15 e 3.3.16, respectivamente, para os tratamentos de pressão/temperatura e temperatura/pressão. Deste modo, podem comparar-se os resultados dos dois tipos de tratamento combinado, tendo em conta possíveis efeitos do facto de as experiências terem sido realizadas em momentos diferentes e em condições ambientais não exactamente iguais.

A análise dos gráficos permite verificar que o controlo da experiência em que se aplicou temperatura primeiro abrolha mais cedo, enquanto os tubérculos tratados começam a abrolhar mais tarde, quando comparados com os tubérculos submetidos primeiro a pressão. As diferenças observadas para os dois controlos poderá estar relacionada com o facto de os tratamentos em que se aplicou primeiro pressão terem sido realizados primeiro (15 dias antes), encontrando-se os tubérculos em estados de dormência diferente e/ou com o facto de as condições ambientais não serem exactamente iguais. De qualquer modo, os resultados apresentados nas Figuras 3.3.15 e 3.3.16, apontam para um efeito inibidor mais pronunciado, no caso em que os tratamentos de temperatura são aplicados primeiro.

Tendência semelhante se verifica quando se compara o número de brotos por batata abrolhada, o comprimento total dos brotos e a massa de brotos (Figuras 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5, 3.3.10, 3.3.11 e 3.3.12). A razão comprimento/massa de brotos (Figuras 3.3.6 e 3.3.13) é maior nos tubérculos submetidos primeiro a temperatura (T65(1)/P150(10) e T65(1)/P300(10)) e semelhante ou menor para os tratamentos (T60(1)/P150(10) e T60(1)/P300(10)).

Relativamente às constantes cinéticas, para uma melhor comparação, os resultados obtidos foram agrupados na Tabela 3.3.6. Como se pode observar, existe uma redução superior da constante cinética, relativamente ao controlo, para os tubérculos submetidos primeiro a temperatura, com excepção do tratamento P300(10)/T65(1). Assim, globalmente, parece ocorrer um efeito inibidor superior, dos tratamentos em que se aplica primeiro temperatura.

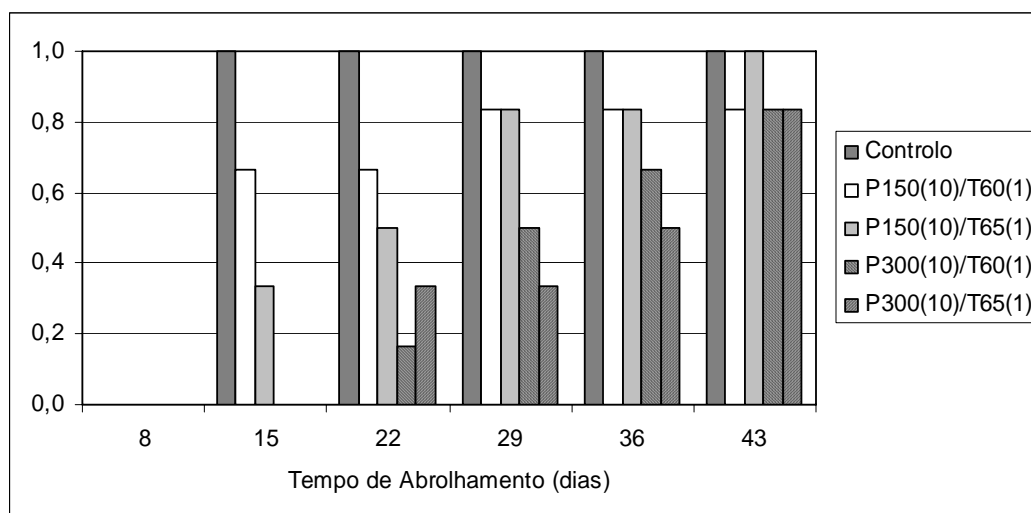


Figura 3.3.15 - Relação entre o número de batatas abrolhadas por tratamento e o número de batatas abrolhadas no controlo para tratamentos de pressão seguidos de tratamentos de temperatura

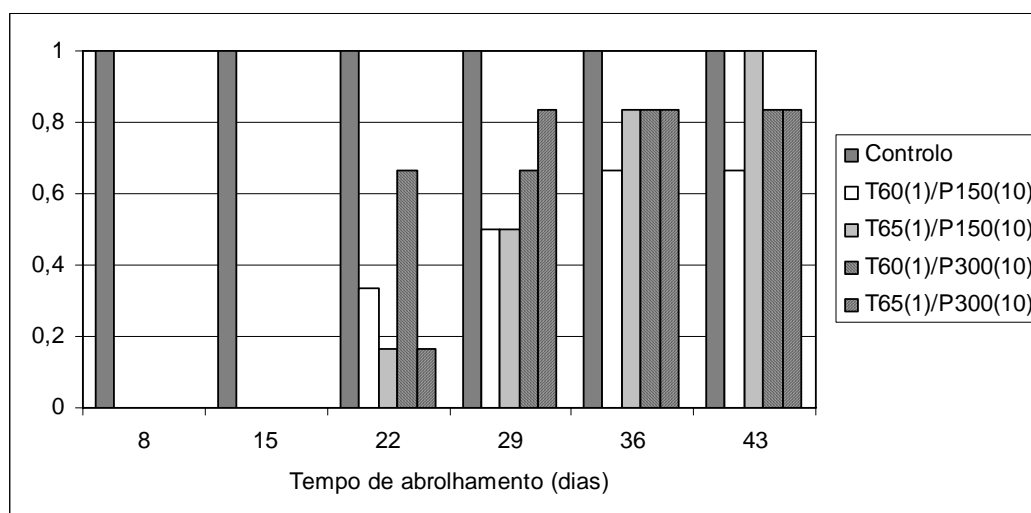


Figura 3.3.16 - Relação entre o número de batatas abrolhadas por tratamento e o número de batatas abrolhadas no controlo para tratamentos de temperatura seguidos de tratamentos de pressão

Tabela 3.3.6 - Comparação das constantes cinéticas

Pressão seguida de temperatura	k (mm/dia)	Temperatura seguida de pressão	k (mm/dia)
Controlo	4,81 (0,59)	Controlo	6,74 (0,38)
P150(10)/T60(1)	2,70 (0,28)	T60(1)/P150(10)	1,51 (0,09)
P150(10)/T65(1)	2,74 (0,15)	T65(1)/P150(10)	2,21 (0,21)
P300(10)	3,35 (1,11)		
P300(10)/T60(1)	2,44 (0,004)	T60(1)/P300(10)	2,88 (0,20)
P300(10)/T65(1)	1,67 (0,07)	T65(1)/P300(10)	2,30 (0,12)
T60(1)	3,82 (0,62)		
T65(1)	4,16 (0,15)		

3.4 Armazenamento em Câmara na Ausência de Luz

Dado que no armazenamento em condições ambientais, a temperatura, a humidade relativa e a luz variam, quer durante o período dia/noite, quer ao longo do armazenamento, foi decidido verificar o efeito dos tratamentos combinados de pressão e temperatura já anteriormente estudados, mas em condições controladas. Assim, o efeito dos tratamentos no abrolhamento foi estudado em câmara, com uma temperatura entre 18-20°C e humidade relativa entre 80-85%, na ausência de luz. O abrolhamento foi estudado na ausência de luz, porque nestas condições, se promove o abrolhamento, sendo estas condições usadas quando se quer promover o abrolhamento, por ex., em batata de semente (informação fornecida por um técnico responsável numa empresa especializada na comercialização de batata de consumo e batata de semente).

Os tratamentos estudados são apresentados na Tabela 3.4.1. Para melhor comparação dos resultados, também foram estudados, para além do controlo, tubérculos sujeitos aos tratamentos individuais de pressão e temperatura. É de salientar que o estudo apresentado neste ponto, foi mais prolongado (57 dias) que os apresentados nos pontos anteriores.

Tabela 3.4.1 - Identificação dos tratamentos estudados em câmara na ausência de luz

Tratamento aplicado	Identificação do tratamento
300 atmosferas durante 10 minutos	P300(10)
300 atmosferas durante 10 minutos seguido de 60°C com duração de 1 minuto	P300(10)/T60(1)
60°C durante 1 minuto seguido de 300 atmosferas com duração de 10 minutos	T60(1)/ P300(10)
60°C durante 1 minuto	T60(1)

As figuras que se seguem mostram a evolução do abrolhamento ao longo do tempo, ao nível da percentagem de batatas abrolhadas (Figura 3.4.1), do número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.4.2) e do comprimento total dos brotos (Figura 3.4.3), no controlo e nas amostras sujeitas aos diferentes tratamentos de pressão e temperatura. No final do armazenamento foi quantificada a massa total de brotos (Figura 3.4.4) e avaliada a relação entre o comprimento total dos brotos e a sua massa (Figura 3.4.5). O resumo destes dados é feito na tabela 3.4.3.

Pela análise da Figura 3.4.1 verifica-se que, com excepção dos tubérculos sujeitos ao tratamento T60(1), todos os tubérculos submetidos aos tratamentos apresentam menor percentagem de tubérculos abrolhados, ao longo de todo o estudo. Ao fim de 57 dias de armazenamento, a menor percentagem de tubérculos abrolhados verifica-se para o tratamento combinado P300(10)/T60(1), 50%, seguido dos tratamentos P300(10), 67%, e T60(1)/P300(10), 83%.

Quanto ao número de brotos por batata abrolhada (Figura 3.4.2) os menores valores verificam-se para os tratamentos combinados, particularmente para o tratamento P300(10)/T60(1), que no final do estudo apresenta 1,3 brotos por batata abrolhada, quando o controlo apresenta um valor de 3,3.

Assim, os tratamentos que envolvem pressão, particularmente os tratamentos combinados, inibem claramente o abrolhamento, quantificado pela percentagem de batatas abrolhadas e número de brotos por batata abrolhada. Dos dois tratamentos combinados, a aplicação de pressão primeiro, permite obter uma inibição superior do abrolhamento.

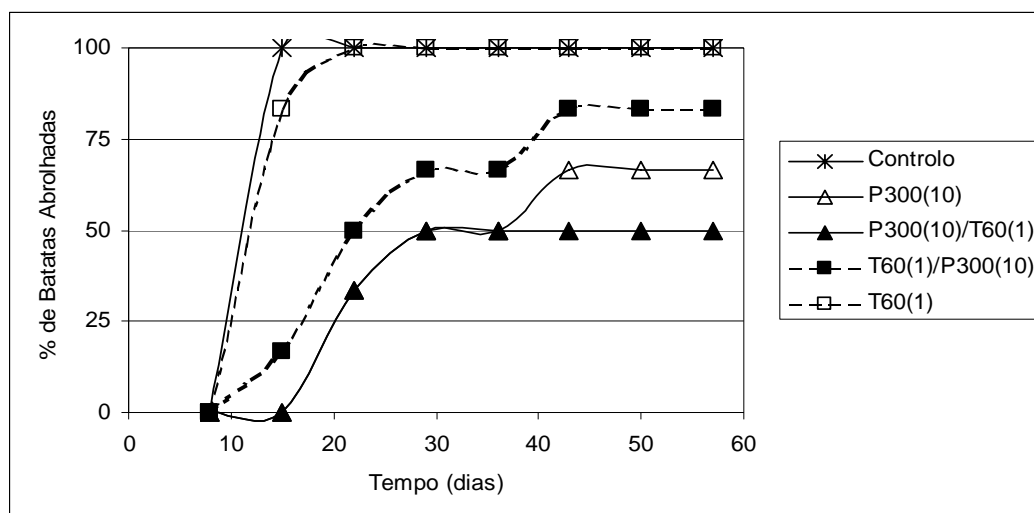


Figura 3.4.1 - Percentagem de batatas abrolhadas

Quanto ao comprimento total dos brotos (Figura 3.4.3), verifica-se uma situação semelhante, com o seu valor a ser menor nos tratamentos que envolvem pressão e nestes a ser menor nos tratamentos combinados, com um valor um pouco inferior para o tratamento em que se aplicou primeiro pressão.

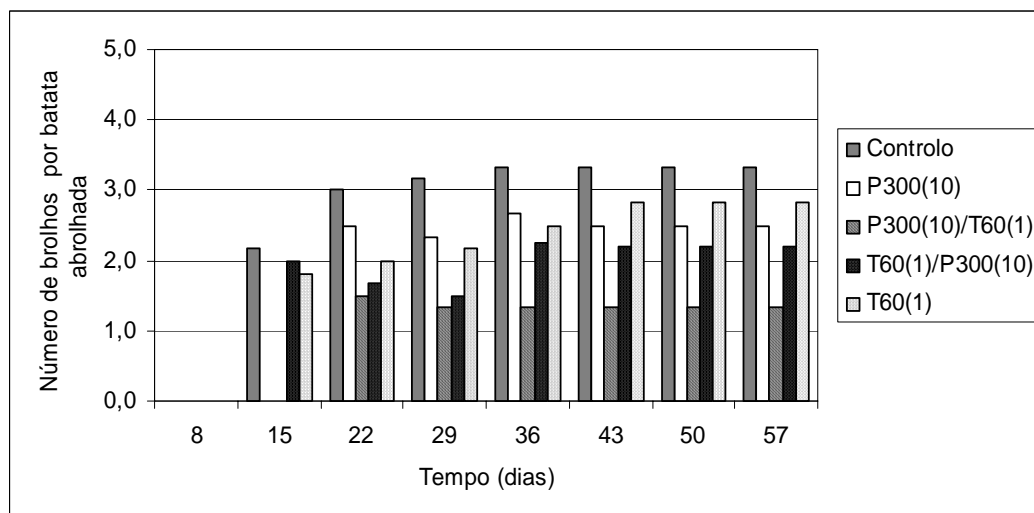


Figura 3.4.2 - Número de brotos por batata abrolhada

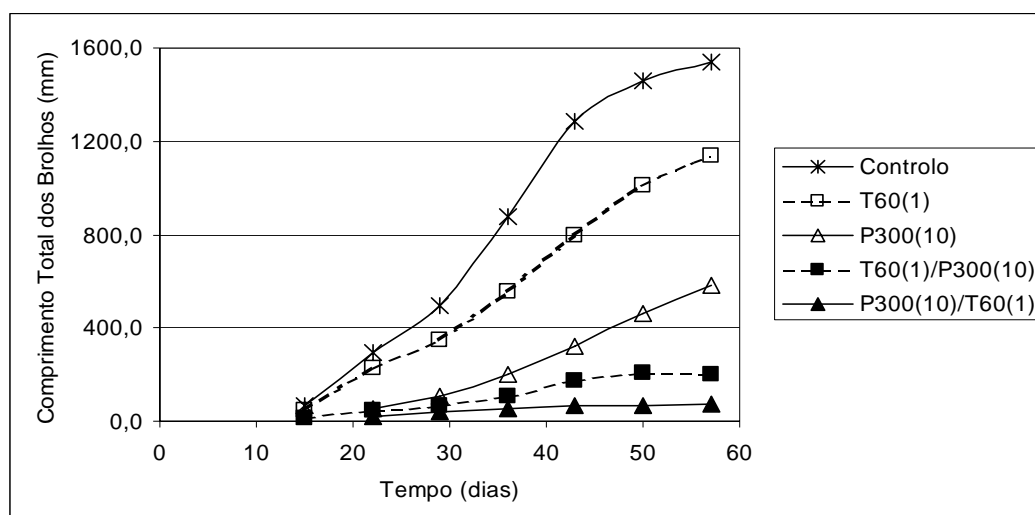


Figura 3.4.3 - Comprimento total dos brotos

Relativamente à cinética de aumento de comprimento dos brotos (Figura 3.4.3 e Tabela 3.4.2), verifica-se que todos os tratamentos apresentam valores menores ($p < 0,05$) que o controle e os menores valores são claramente os dos tratamentos que envolvem pressão, particularmente os tratamentos combinados, revelando uma clara e mais efectiva inibição do desenvolvimento dos brotos. Os valores das constantes cinéticas dos tratamentos P300(10)/T60(1) e T60(1)/P300(10), são, relativamente à do controle, menores cerca de 26 e 8 vezes, respectivamente.

Tabela 3.4.2 - Cinética de crescimento dos brotos

	k (mm/dia)*	R^2	N
Controlo	38,5(2,80) ^a	0,97	7
P300(10)	15,7(1,01) ^b	0,98	6
P300(10)/T60(1)	1,48(0,24) ^b	0,90	6
T60(1)/P300(10)	5,07(0,53) ^b	0,95	7
T60(1)	27,0(1,02) ^b	0,99	7

Entre parêntesis apresenta-se o erro padrão

n - número de observações utilizadas para determinação de k

*Letras diferentes indicam valores estatisticamente diferentes (teste t de *student*, $p < 0,05$)

A massa total de brotos é claramente menor nos tratamentos que envolvem AP, sendo nestes menor nos tratamentos combinados e nestes menor no caso do tratamento em que se aplicou primeiro pressão (Figura 3.4.4). Ocorre basicamente o contrário para a relação comprimento/massa total de brotos que é maior nos tratamentos que envolvem AP (Figura 3.4.5).

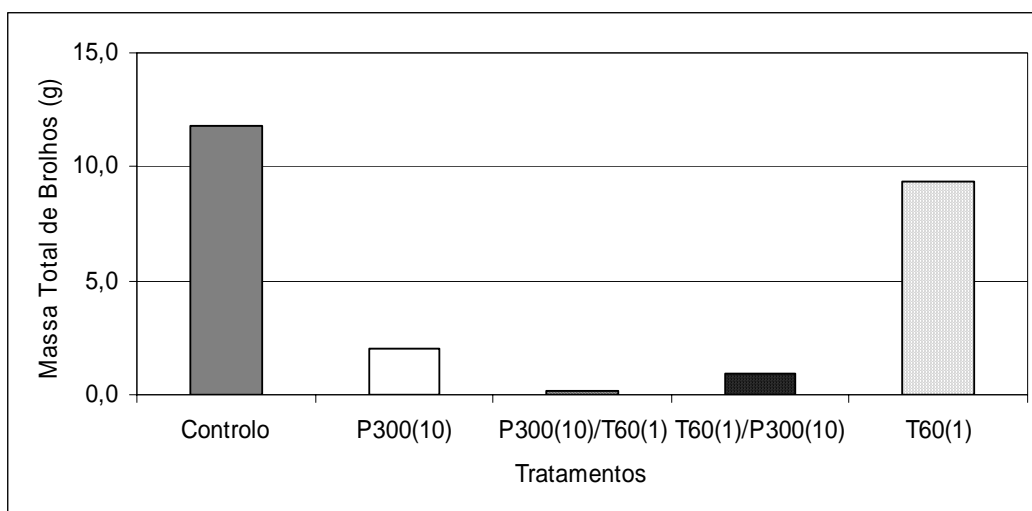


Figura 3.4.4 - Massa total de brolhos

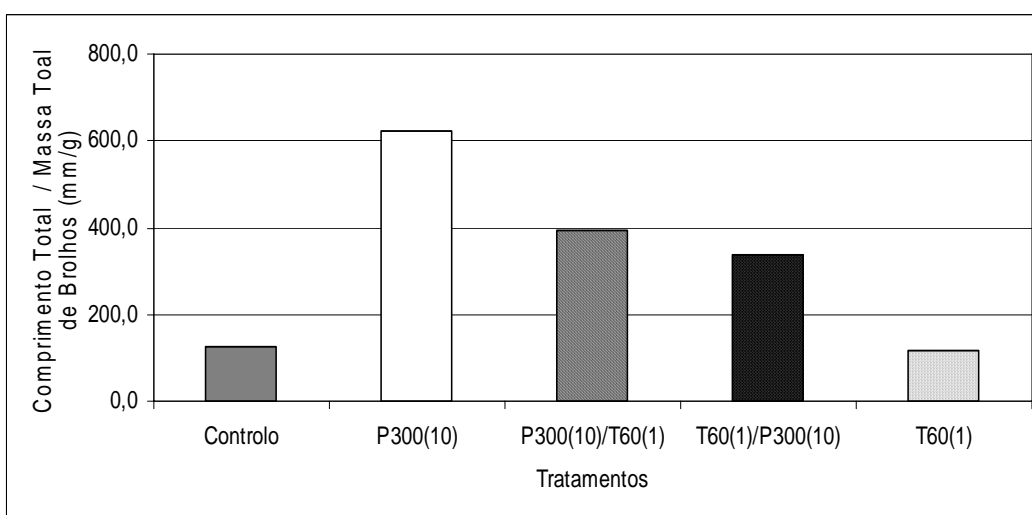


Figura 3.4.5 - Relação entre o comprimento e a massa total de brolhos

Os valores médios da massa de brolhos e da razão comprimento/massa de brolhos são, respectivamente, menores e maiores ($p < 0,05$) nos tratamentos que envolvem AP, enquanto que o comprimento médio dos brolhos é menor ($p < 0,05$) apenas para o tratamento P300(10)/T60(1) (Tabela 3.4.3), suportando as conclusões anteriores que este tratamento é o mais eficiente na inibição do abrolhamento e desenvolvimento dos brolhos.

Em conclusão, em câmara, com uma temperatura entre 18-20°C e humidade relativa entre 80-85%, na ausência de luz, são os tratamentos que envolvem aplicação de AP os mais eficazes na inibição do abrolhamento e desenvolvimento dos brolhos, particularmente os tratamentos

combinados, e nestes, os resultados indicam que o tratamento em que se aplicou primeiro AP tem um efeito inibidor superior. O efeito inibidor dos tratamentos aplicados pode ser observado na Figura 3.4.6, em que se vê claramente a diferença entre o número, comprimento e massa de brotos no final do estudo. Outra questão interessante que se pode observar pela Figura 3.4.6 é a diferença na morfologia dos brotos, já discutida, pela relação comprimento/massa dos brotos. Como se pode ver, nos tratamentos que envolvem pressão, os brotos são, claramente, em termos relativos, mais finos e mais longos.

Apenas ocorreu podridão num tubérculo do tratamento P300(10)/T60(1) ao fim de 50 dias, o que deverá estar relacionado com algum dano particular deste tubérculo e que não foi detectado aquando do início da experiência.

Discussão de Resultados

Tabela 3.4.3 - Parâmetros de avaliação do abrolhamento no final de 57 dias de armazenamento

		Controlo	P300(10)	P300(10)/T60(1)	T60(1)/P300(10)	T60(1)
% de batatas abrolhadas		100,0	66,7	50,0	83,3	100,0
Nº de brotos por batata abrolhada		3,3	2,5	1,3	2,2	2,8
Massa de brotos (g)	Total	11,82	1,99	0,18	0,95	9,37
	Média*	1,97 ^a	0,50 ^b	0,06 ^b	0,19 ^b	1,56 ^a
	(DP)	(0,36)	(0,58)	(0,02)	(0,18)	(0,84)
Comprimento dos brotos (mm)	Total	1542,2	581,9	71,0	199,0	1139,2
	Média	257,0 ^a	145,5 ^a	23,7 ^b	39,8 ^a	189,9 ^a
	(DP)	(117,0)	(157,1)	(8,0)	(20,1)	(135,6)
Comprimento/massa de brotos (mm/g)	Média	127,3 ^a	623,8 ^b	395,2 ^b	338,0 ^b	118,6 ^a
	(DP)	(47,0)	(382,4)	(64,4)	(187,0)	(43,6)

*Letras diferentes na mesma linha indicam um efeito estatisticamente significativo (teste SNK, $p < 0,05$)

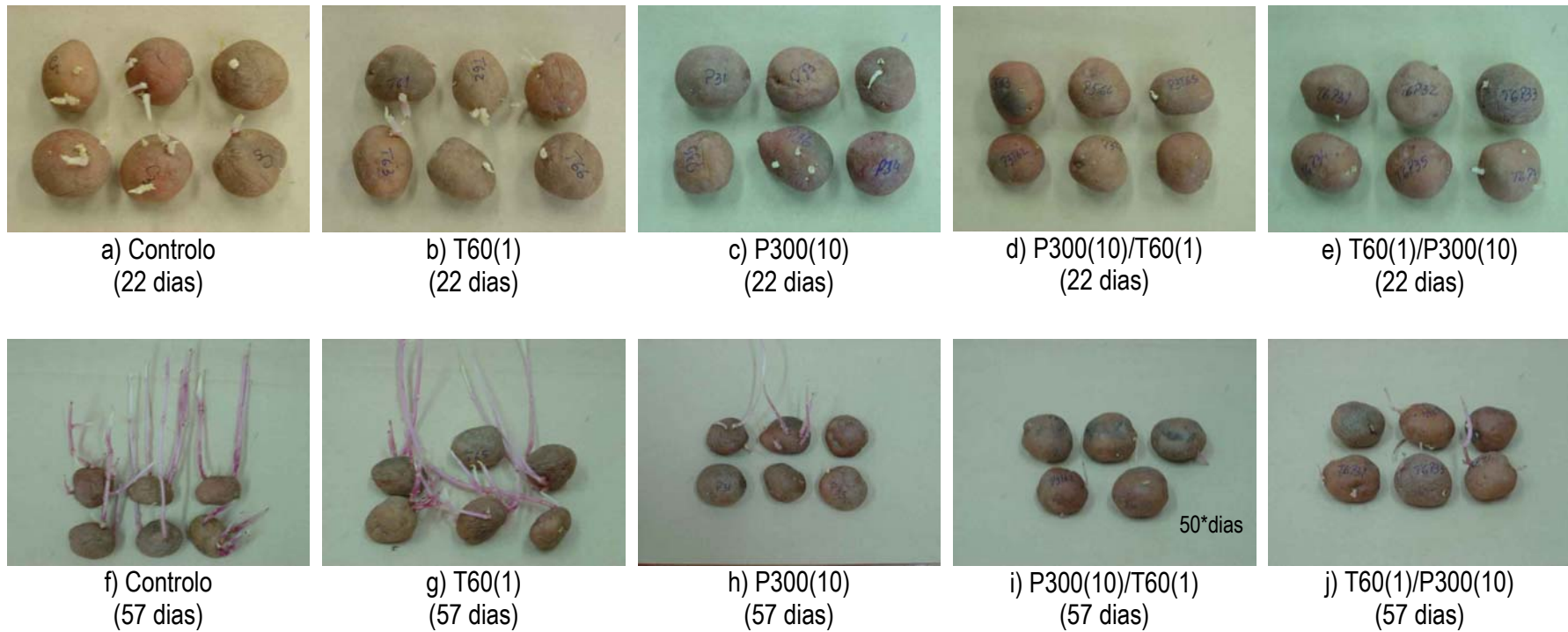


Figura 3.4.6 - Fotos dos tubérculos aos 22 e 57 dias de armazenamento

*O número indica o dia em que apareceu o primeiro tubérculo com podridão

3.5 Comparação do Efeito da Luz no Abrolhamento em Câmara

Comparando os resultados apresentados nos pontos 3.1.1 e 3.4, pode-se verificar que a ausência de luz causa:

- i) Um abrolhamento mais rápido (Figuras 3.1.1 e 3.4.1);
- ii) Um aumento para cerca do quádruplo do comprimento dos brotos no controle e um aumento para menos do dobro no tratamento P300(10);
- iii) Um aumento para cerca do triplo e do dobro da constante cinética para o aumento de comprimento dos brotos, respectivamente, para o controle e P300(10);
- iv) Um aumento para cerca do triplo da massa dos brotos do controle e basicamente nenhum efeito na massa dos brotos do tratamento P300(10);
- v) Um aumento de cerca de 60% no rácio comprimento/massa total de brotos no controle e de 6 vezes no tratamento P300(10), indicando que para este tratamento, na ausência de luz, os brotos são mais finos e mais longos, como se pode ver na Figura 3.4.6.

Globalmente, pode-se concluir que a ausência de luz promove o abrolhamento, dados os resultados obtidos para o controle e no tratamento P300(10) e torna os brotos mais finos. Apesar do abrolhamento ser promovido na ausência de luz, os tubérculos submetidos ao tratamento P300(10) não são afectados de modo proporcional, revelando um claro efeito inibidor do tratamento aplicado.

3.6 Efeito dos Tratamentos no Rácio Comprimento/Massa de Brotos

Uma análise aos resultados obtidos para o parâmetro comprimento/massa de brotos, revela que se verifica, globalmente, uma tendência para que este seja maior nos tratamentos que envolvem AP, quando ocorre inibição do abrolhamento. Por ex., na Tabela 3.1.4 e nas Figuras 3.3.6 e 3.4.5, verifica-se que para um valor do número de brotos por batata abrolhada sensivelmente

igual (em que a competição para o desenvolvimento dos brotos em cada tubérculo é igual), o rácio comprimento/massa de brotos é maior nos tratamentos que envolvem AP. No ponto 3.1.2, não se verifica esta situação, provavelmente por o grau de inibição que se verifica com os tratamentos aplicados ser menor, obtendo-se assim valores semelhantes aos do controlo. Para tratamentos térmicos, quando se verifica inibição do abrotamento, para um número de brotos por batata abrotada semelhante, o rácio comprimento/massa de brotos é geralmente menor que o do controlo (os dados da Tabela 3.2.4 evidenciam esta facto claramente). Estes resultados revelam que quando ocorre inibição do abrotamento e desenvolvimento dos brotos, envolvendo tratamentos de AP, o próprio padrão de desenvolvimento dos brotos é diferente. Assim, nos tratamentos que envolvem AP, o broto tende a ser, em termos relativos mais fino e mais longo que nos casos que só envolvem tratamentos térmicos. Tal poder-se-á dever a algum efeito dos tratamentos de AP ao nível do mecanismo de dominância apical, e revelam, que a AP e os tratamentos térmicos deverão estar a afectar estruturas e/ou funções metabólicas diferentes. De facto, os tratamentos térmicos afectam directamente apenas a parte superficial do tubérculo, enquanto os tratamentos de AP afectam todo o tubérculo, dado que este sofre uma compressão homogénea, característica dos tratamentos de AP (Olsson, 1995). Assim, com os tratamentos de AP poderá ser afectado um maior número de células e estruturas como o floema, o que poderá afectar, por ex., o transporte de sacarose no tubérculo.

IV. Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro

Tratamentos de alta pressão de 300 e 500 atm, aplicados durante 5, 5+5 e 10 minutos têm pouca influência no abrolhamento mas inibem o desenvolvimento dos brotos de tubérculos armazenados em câmara com luz difusa. Quando os tubérculos são armazenados em condições ambientais, tratamentos de alta pressão de 1000 atm (5 e 10 minutos) e 500 atm (5+5 e 10 minutos) inibem o abrolhamento durante pelo menos 43 dias. Nas mesmas condições de armazenamento, um tratamento de alta pressão de 300 atm (5+5 minutos) retarda significativamente o abrolhamento e o desenvolvimento dos brotos. Deste modo, o efeito dos tratamentos de alta pressão no abrolhamento parece estar dependente das condições de armazenamento, muito provavelmente das condições luminosas.

Tratamentos térmicos a 60°C, 65°C, 70°C e 75°C com duração de 3 e 5 minutos, inibem o abrolhamento de tubérculos de batata, durante pelo menos 43 dias. Os mesmos tratamentos com duração de 1 minuto, retardam o abrolhamento e desenvolvimento dos brotos. Tratamentos térmicos entre os 5°C e os – 20°C não permitem inibir o abrolhamento, com excepção de algum efeito inibidor verificado para os tratamentos a – 20°C.

Tratamentos combinados sequenciais de pressão (150 e 300 atm, 10 minutos) seguidos de temperatura (60°C e 65°C, 1 minuto), inibem o abrolhamento e o desenvolvimento dos brotos, de modo mais substancial que os tratamentos aplicados individualmente. Relativamente ao controlo, os tratamentos com efeito mais pronunciado na inibição do abrolhamento e desenvolvimento dos brotos são os tratamentos combinados que envolvem o tratamento de pressão de 300 atm. Os mesmos tratamentos combinados sequenciais, mas realizados com aplicação de temperatura seguida de pressão, causam um claro efeito inibidor do abrolhamento e do desenvolvimento dos brotos, que, globalmente, é superior em relação aos mesmos tratamentos combinados, quando se aplica primeiro pressão. Estes resultados permitem concluir que é possível aplicar tratamentos combinados de pressão e temperatura, menos severos para a qualidade dos tubérculos, mas com efeitos inibidores do abrolhamento.

Quando os tubérculos são sujeitos a tratamentos individuais de temperatura a 60°C (1 minuto), a tratamentos de pressão a 300 atm (10 minutos) e a combinações sequenciais destes tratamentos e armazenados em câmara na ausência de luz, verifica-se inibição do abrolhamento e do desenvolvimento dos brotos, sendo a inibição particularmente significativa para os tratamentos

combinados. Estes resultados indicam que as condições luminosas poderão ter um papel importante na inibição causada pelos tratamentos que envolvem pressão.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam também que quando os tratamentos de pressão causam inibição do abrolhamento e desenvolvimento dos brotos, alteram também o próprio modo de desenvolvimento dos brotos, dado que estes se apresentam, em termos relativos mais finos e longos. Este resultado indica que, provavelmente, os tratamentos de pressão poderão inibir o abrolhamento, actuando, pelo menos parcialmente, em estruturas e/ou processos diferentes ao nível dos tubérculos. De facto, dado o seu modo de aplicação, os tratamentos de alta pressão deverão afectar todo o tubérculo, dado que todo o tubérculo sofre a mesma compressão. Nos tratamentos térmicos, apenas a camada superficial dos tubérculos é afectada.

Assim, pode-se concluir que os tratamentos térmicos de curta duração, os tratamentos de pressão e os tratamentos combinados de pressão e temperatura, usados neste trabalho, revelaram capacidade para inibir o abrolhamento de tubérculos de batata, pelo que se revelam de potencial aplicação a nível industrial. É de referir que hoje já existem equipamentos de pressão com capacidade de processamento de 200-300 litros, que permitem atingir pressões de 5000-6000 atm. Para os valores de pressão em se verificou inibição do abrolhamento neste trabalho (igual ou menor que 1000 atm), é possível ter equipamentos de pressão com capacidades de processamento, em termos de volume, muito maior, a preços bastante acessíveis. De facto, equipamentos deste tipo estão já em funcionamento para outro tipo de aplicações.

O efeito inibidor demonstrado pelos tratamentos térmicos de curta duração, pelos tratamentos de pressão e pelos tratamentos combinados, poderá também ser de interesse para inibir processos germinativos, como por exemplo, em sementes. No caso dos tratamentos de pressão, o efeito inibidor no abrolhamento, poderá ser interessante para aplicação a outros tipos de produtos, de qualidade mais sensível, como alhos, para os quais já existe na literatura pelo menos um trabalho envolvendo tratamentos térmicos. Neste tipo de produtos, tratamentos de pressão ao nível dos que foram usados neste trabalho, não deverão causar alterações de qualidade, nomeadamente ao nível do aroma.

A alta pressão poderá também ser importante ao nível de estudos mais fundamentais, para elucidar os mecanismos e processos envolvidos na quebra de dormência e início do abrolhamento. Isto, porque os tratamentos de pressão que se verificou inibirem o abrolhamento neste trabalho, não deverão, em princípio, causar inactivação significativa de enzimas, ao contrário dos tratamentos

Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro

térmicos, que deverão provocar inactivação considerável de enzimas ao nível superficial dos tubérculos.

Globalmente, os tratamentos térmicos, de pressão e combinados estudados neste trabalho, poderão ser alternativas muito interessantes à utilização de métodos químicos. Os tratamentos estudados poderão ainda ser interessantes para inibir o abrolhamento de tubérculos de batata, conjugando o seu efeito inibidor no abrolhamento, com o armazenamento a temperaturas acima dos 10°C, reduzindo assim os custos de refrigeração.

Em termos de trabalho futuro, seria interessante desenvolver estudos, que pudessem contribuir para:

- i) Elucidar de que modo os tratamentos que envolvem pressão inibem o abrolhamento, nomeadamente, por eventuais alterações estruturais ao nível tecidular e celular (por microscopia electrónica) e ao nível do PPI, da pirofosfatase, da sacarose e do amido (o mesmo se aplica aos tratamentos térmicos e combinados).
- ii) Verificar que alterações causam os tratamentos de pressão, nomeadamente ao nível da vitamina C, actividade de enzimas, textura antes e após confecção (cozedura, fritura), cor, etc.
- iii) Identificar de modo mais preciso o valor mínimo de pressão e tempo necessários para causar inibição do abrolhamento, dado que neste estudo se verificou que pressões de 1000 e 500 atm (5 e 10 minutos) inibiam o abrolhamento. Poder-se-á eventualmente verificar que os tempos de tratamento podem ser menores que 5 minutos, o que teria interesse para aplicação em termos práticos.
- iv) Avaliar a possibilidade de usar os tratamentos de pressão para inibir processos germinativos em outro tipos de produtos, muito particularmente produtos de maior valor comercial e com qualidade mais sensível, tais como alhos.
- v) Verificar a influência da luz no efeito inibidor no abrolhamento dos tratamentos de pressão.

V. Referências Bibliográficas

Afek, U., Orenstein, J., & Nuriel, E. (2000). Using HPP (Hydrogen Peroxide Plus) to inhibit potato sprouting during storage. *American Journal of Potato Research*, 77(1):63-65.

Ananta, E. & Knorr, D. (2003). Pressure-induced thermotolerance of *Lactobacillus rhamnosus* G. *Food Research International*, 36(9-10):991-997.

Augustin, J., Johnson, S. R., Teitzel, C., True, R. H, Hogan, J. M., Toma, R. B., Shaw, R. L. & Deutsch, R.M. (1978). Changes in nutrient composition of potatoes during home preparation II. vitamins. *American Potato Journal*, 55:653-662.

Baker, A., Brown, P. H. & Blake, M. R. (2002). Use of S-carvone and 1,4-dimethylnaptalene as sprouting inhibitors during potato storage. *Potato, Global Research & Development, Proceedings of the Global Conference on Potato*, 2:1075-1079, New Delhi, India.

Bhargava, R. (1997). Changes in abscisic acid and gibberellic acids contents during the release of potato seed dormancy. *Biologia Plantarum*, 39(1):41-45.

Biemelt, S., Hajirezaei, M., Hentchel, E. & Sonnewald, U. (2000). Comparative analysis of abscisic acid content and starch degradation during storage of tubers harvested from different potatoes varieties. *Potato Research*, 43:371-382.

Blaszczyk, W., Valverde, S. & Fornal, J. (2005). Effect of high pressure on the structure of potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 59:377-383.

Blenkinsop, R. W., Copp, L. J., Yada, R. Y. & Marangoni, A. G. (2002). Effect of chlorpropham (CIPC) on carbohydrate metabolism of potato tubers during storage. *Food Research International*, 35:651-655.

Boguchi, S & Nelson, D. C. (1980). Length of dormancy and sprouting characteristics of ten potatoes cultivars. *American Potato Journal*, 57:151-157.

Cantwell, M. I., Kang, J. & Hong, G. (2003). Heat treatments control sprouting and rooting of garlic cloves. *Postharvest Biology and Technology*, 30:57-65.

Referências Bibliográficas

- Castro, S. M., Loey, A. V., Saraiva, J. A., Smout, C. & Hendrickx, M. (2006a). Inactivation of pepper (*Capsicum annuum*) pectin methylesterase by combined high-pressure and temperature treatments. *Journal of Food Engineering*, 75:50–58.
- Castro, S. M., Loey, A. V., Saraiva, J. A., Smout, C. & Hendrickx, M. (2006b). Identification of pressure/temperature combinations for optimal pepper (*Capsicum annuum*) pectin methylesterase activity. *Enzyme and Microbial Technology*, 38:831–838.
- Directiva 1999/3/EC do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu de 22 de Fevereiro de 1999. Jornal Oficial das Comunidades Europeias nº L066 de 23/3/1999 (pp. 24-25).
- Douzals, J. P., Marechal, P. A., Coquille, J. C. & Gervais, P. (1996). Microscopic study of starch gelatinization under high hydrostatic pressure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44:1403-1408.
- Edwards, E., Cobb, A. (1997). Effect of temperature on glycoalkaloid and chlorophyll accumulation in potatoes (*Solanum tuberosum* L. Cv. King Edward) stored at low photon flux density, including preliminary modeling using a neural network. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45:1032-1038.
- Eolini, F., Hochkoeppler, A., Credi, A., Rodriguez, A. & Poggi, V. (2004). Polyphenol oxidase expression in potato (*Solanum tuberosum*) tubers inhibited to sprouting by treatment with iodine atmosphere. *Phytochemistry*, 65:2181-2187.
- Farré, E. M., Bachmann, A., Willmitzer, L. & Trethewey, R. N. (2001). Acceleration of potato tuber sprouting by the expression of a bacterial pyrophosphatase. *Nature Biotechnology*, 19:268-272.
- Fayle, S. E. & Gerrard, J. A. (2002). *The Maillard Reaction*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Ferreira, N., Saraiva, J. & Mendo, S., (2005). Pressure-induced thermotolerance of *Salmonella enteritidis*. Comunicação oral no Congresso MicroBiotec'2005 da Sociedade Portuguesa de Biotecnologia, Póvoa do Varzim.

Gabinete de Planeamento e Política Agro-Alimentar (GPPAA), Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e das Pescas (2004). *Anuário Vegetal 2004*. Lisboa.

Galhano, C., Grave, E.; Ioana, E., Silva M. & Moreira da Silva A. (2005). Efeito da carvona e do composto de inclusão (carvona/ciclodextrina- β) na prevenção do abrolhamento de batata. Comunicação em painel no 7º Encontro de Química dos Alimentos da Sociedade Portuguesa de Química, Viseu.

Gardiner, W. (1997). *Statistical Analysis Methods for Chemists – A Software-based Approach*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.

Gomes, M. R. A. & Ledward, D. A. (1996). Effect of high pressure treatment on the activity of some polyphenoloxidases. *Food Chemistry*, 56(1):1-5.

Gull, D. D. & Isenberg, F. M. (1958). Light and off-flavour development in potato tubers exposed to fluorescent light. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 71: 446-449.

Hajirezaei, M. & Sonnewald, U. (1999). Inhibition of potato tuber sprouting: low levels of cytosolic pyrophosphate lead to non-sprouting tubers harvested from transgenic potato plants. *Potato Research*, 42:353-372.

Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van Den Broeck, I. & Weemaes, C. (1998). Effects of High Pressure on Enzymes Related to Food Quality. *Trends in Food & Technology*, 9:197-203.

Jadhav, S. J. & Kadam, S.S. (1998). Potato, In D. K Salunkhe & S. Kadam, (eds), *Handbook of Vegetable Science and Technology - Production, Composition, Storage and Processing* (pp. 11-69). Marcel Dekker, Inc, New York, USA.

Jeong, J., Prange, R. K. & Daniels-Lake, B. J. (2002). Long-term exposure to ethylene affects polyamine levels and sprout development in “Russet Burbank” and “Shepody” potatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(1):122-126.

Korpan, Y., Nazarenko, E., Skryshevskaya, I., Martelet, C., Jaffrezic-Renault, N. & El'skaya, A. (2004). Potato glycoalkaloids: true safety or false sense of security? *Trends in Biotechnology*, 22(3):147-151.

- Lerchl, J., Geigenberber, P., Stitt, M. & Sonnewald, U. (1995). Impaired photoassimilate partitioning caused by phloem-specific removal of pyrophosphate can be complemented by a phloem-specific cytosolic yeast-derived invertase in transgenic plants. *The Plant Cell*, 7: 259-270.
- Lewis, M., Thornton, M. & Kleinkopf, G. (1997). *Commercial application of CIPC sprout inhibitor to storage potatoes*, College of Agriculture, University of Idaho, Idaho, USA.
- Linnemann, A. R., Vanes, A. & Hartmans, K. L. (1985). Changes in the content of L-ascorbic acid, glucose, fructose, sucrose and total glycoalkaloids in potatoes (cv. Bintje) stored at 7, 16 and 28°C. *Potato Research*, 28:271-278.
- Linton, M., McClements, J. & Patterson, M.F. (2000). The combined effect of high pressure and storage on the heat sensitivity of *Escherichia coli* O157:H7. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1:31-37.
- Luis Matutano, (s.d). *Influencia de las temperaturas en el almacenamiento de patatas* Barcelona, Espanha (folheto informativo da empresa Luis Matutano).
- Lytovchenko, A., Hajirezaei, M., Eickmeier, I., Mittendorf, V., Sonnewald, U., Willmitzer, L. & Fernie, A. (2005). Expression of an *Escherichia coli* phosphoglucomutase in potato (*Solanum tuberosum* L.) results in minor changes in tuber metabolism and a considerable delay in tuber sprouting. *Planta*, 221:915-927.
- Macdonald, M. M. & Osborne, D. J. (1988). Synthesis of nucleic acids and protein in tuber buds of *Solanum tuberosum* during dormancy and early sprouting. *Physiologia Plantarum*, 73:392-400.
- Manas, P. & Mackey, B.M. (2004). Morphological and physiological changes induced by high hydrostatic pressure in exponential and stationary-phase cells of *Escherichia coli*: relationship with cell death. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(3):1545-1554.
- Matser, A. M., Krebbers, B., Berg, R. & Bartels, P. (2004). Advantages of high pressure sterilisation on quality of food products. *Trends in Food Science & Technology*, 15:79-85.

- Mittal, A. K., Gupta, K. C. & Sand, N. K., (2001). Aroma chemicals as potato tuber sprouting inhibitor. *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, 38(5):499-501.
- Mondy, N.; Ponnampalam, R. (1985). Effect of sprouting inhibitor isopropyl N-(3-chlorophenyl carbamate) on total glycoalkaloid. *Journal of Food Science*, 50:258-259.
- Murao, S., Nomura, Y., Yoshikawa, M., Shin, T., Oyama, H. & Arai, M. (1992). Enhancement of activities of cellulases under high hydrostatic pressure. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 56:1366-1367.
- Norma Portuguesa NP-1220, *Batata de Consumo – Regras de Armazenagem*, IGPAI, Lisboa, 1976.
- Norma Portuguesa NP-3063, *Batata de Consumo – Definição, Características, Acondicionamento e Marcação*, Direcção Geral da Qualidade (DGQ), Lisboa, 1985.
- Nourian, F., Ramaswamy, H. S. & Kushalappa, A. C. (2003). Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures, *LWT – Food Science and Technology*, 36:49-65.
- Olsson, S. (1995). Production equipment for commercial use, In D. A. Ledward, D. E. Johnston, R.G. Eardnshaw, A. P. M. Hasting, (eds), *Pressure Processing of Foods*, Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Picha, D. H. (1986). Influence of storage duration and temperature on sweet potato sugar content and ship colour. *Journal of Food Science*, 51:239-240.
- Plaza S. G., Sueldo, R. J., Crupkin, M. & Barassi, C. A., (1985). Changes in composition of potatoes stored in clamps. *Journal of Food Science*, 50:1254-1256.
- Ponnampalam, R. & Mondy, N. I. (1986). Effect of sprout inhibitor isopropyl N-(3-chlorophenyl)carbamate (CIPC) on phenolic and ascorbic acid content of potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34:262-263.
- Prange, R., Kalt, W., Daniels-Lake, B., Liew, C., Walsh, J., Dean, P., Coffin, R. & Page, R. (1997). Alternatives to currently used potato sprout suppressants. Conference Proceedings,

Postharvest News and Information, 8:37-41.

Ranganna, B; Raghavan, G. & Kushalappa, A. (1998). Hot water dipping to enhance storability of potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 13:215-223

Rees, T. & Morrells, S. (1990). Carbohydrate metabolism in developing potatoes. *American Potato Journal*, 67:835-847.

Reistad, R. (1983). Content and composition of non-starch polysaccharides in some norwegian plant foods. *Food Chemistry*, 12:45-59.

Ritz, M., Tholozan, J. L, Federighi, M. & Pilet, M. F. (2001). Morphological and physiological characterization of *Listeria monocytogenes* subjected to high hydrostatic pressure. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(5): 2240-2247.

Ritz, M., Tholozan, J. L, Federighi, M. & Pilet, M. F. (2002). Physiological damages of *Listeria monocytogenes* treated by high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Microbiology*, 79(1-2):47-53.

Saraiva, J., Carvalho A. & Machado F. (2004). Effect of a 50 MPa pressure treatment on green pea seeds germination. Comunicação em painel no XLII European High Pressure Research Group Meeting, Lausanne (Switzerland).

Saraiva, J., Lourenço, L. G. & Jorge N. (2003). Efeito de Cálcio e Tratamentos de Pressão na Hidrólise de Amido pela Enzima α -Amilase. Comunicação oral no 6º Encontro de Química dos Alimentos da Sociedade Portuguesa de Química, Lisboa.

Sengul, M., Keles, F. & Keles, M. S. (2004). The effect of storage conditions (temperature, light, time) and variety on the glycoalkaloid content of potato tubers and sprouts. *Food Control*, 15:281-286.

Slininger, P., Burkhead, K. & Schisler, D. (2004). Antifungal and sprout regulatory bioactivities of phenylacetic acid, indole-3-acetic acid, and tyrosol isolated from potato dry rot suppressive bacterium *Enterobacter cloacae* S11:T:07. *Journal Industrial Microbiology & Biotechnology*, 31:517-524.

- Slininger, P., Schisle, D., Burkhead, K. & Bothast, R. (2003). Postharvest biological control of potato sprouting by fusarium dry rot suppressive bacteria. *Biocontrol Science and Technology*, 13(5):477-494.
- Sonnewald, U. (2001). Control of potato tuber sprouting. *Trends in Plant Science*, 6(8):333-335.
- Sorce, C., Piaggese, A., Ceccarelli, N. & Lorenzi, R. (1996). Role and metabolism of abscisic acid in potato tuber dormancy and sprouting. *Journal of Plant Physiology*, 149:548-552.
- Stadler, R. H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P. A., Robert, M., & Riediker, S. (2002). Acrylamide from maillard reaction products. *Nature*, 419:449-450.
- Suttle, J. C. (2003). Auxin-induced sprout growth inhibition: role of endogenous ethylene. *American Journal of Potato Research*, 80:303-309.
- Suttle, J. C. (2001). Dormancy-related changes in cytokinin efficacy and metabolism in potato tubers during postharvest storage. *Plant Growth Regulation*, 35:199-206.
- Suttle, J. C. (2004). Involvement of endogenous gibberellins in potato tuber dormancy and early sprout growth: a critical assessment. *Journal of Plant Physiology*, 161:157-164.
- Suttle, J. C. (1998a). Involvement of ethylene in potato microtuber dormancy. *Plant Physiology*, 118:843-848.
- Suttle, J. C. (1998b). Postharvest changes in endogenous cytokinins and cytokinin efficacy in potato tubers in relation to bud endodormancy. *Physiologia Plantarum*, 103:59-69.
- Suttle, J. C.; Hultstrand, J. F. (1994). Role of endogenous abscisic acid in potato microtuber dormancy. *Plant Physiology*, 105:891-896.
- Tareke, E., Rydberg, P., Karsson, P., Eriksson, S. & Tornqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17):4998-5006.
- Todoriki, S. & Hayashi, T. (2000). Disinfection of seeds and sprout inhibition of potatoes with low energy electrons. *Radiation Physics and Chemistry*, 57:253-255.

Referências Bibliográficas

- Todoriki, S. & Hayashi, T. (2004). Sprout inhibition of potatoes with soft-electron (low-energy electron beams). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84:2010-2014.
- Torres, J. A. & Velazquez, G. (2005). Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. *Journal of Food Engineering*, 67:95-112.
- Tweddell, R. J., Boulanger, R. & Arul, J. (2003). Effect of chlorine atmospheres on sprouting and development of dry rot, soft rot and silver scurf on potato tubers. *Postharvest Biology and Technology*, 28:445-454.
- Wills, R. & Warton, M. A. (2003). Effect of low levels of ethylene on sprouting of potatoes in storage. *HortScience*, 39:136-137.
- Wiltshire, J. J. & Cobb, A. H. (1996). A Review of the Physiology of Potato Tuber Dormancy. *Annals of Applied Biology*, 129:553-569.